

Libros de **Cátedra**

Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas sustentables

Santiago Javier Sarandón
Claudia Cecilia Flores
(editores)

n
naturales

FACULTAD DE
CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

AGROECOLOGÍA

BASES TEÓRICAS PARA EL DISEÑO Y MANEJO DE AGROECOSISTEMAS SUSTENTABLES

Santiago Javier Sarandón

Claudia Cecilia Flores



2014

Agroecología : bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables / Santiago Javier Sarandón ... [et.al.] ; coordinado por Santiago Javier Sarandón y Claudia Cecilia Flores. - 1a ed. - La Plata : Universidad Nacional de La Plata, 2014. E-Book: ISBN 978-950-34-1107-0

1. Agricultura Sustentable. 2. Ecología. I. Sarandón, Santiago Javier II. Sarandón, Santiago Javier , coord. III. Flores, Claudia Cecilia , coord.
CDD 577

Fecha de catalogación: 17/06/2014

Diseño de tapa: Dirección de Comunicación Visual de la UNLP



Universidad Nacional de La Plata – Editorial de la Universidad de La Plata

47 N.º 380 / La Plata B1900AJP / Buenos Aires, Argentina
+54 221 427 3992 / 427 4898
editorial@editorial.unlp.edu.ar
www.editorial.unlp.edu.ar

Edulp integra la Red de Editoriales Universitarias Nacionales (REUN)

Primera edición, 2014
ISBN 978-950-34-1107-0
© 2014 - Edulp

"La educación es el arma más poderosa que puedes usar para cambiar el mundo"

Nelson Mandela

"Es más fácil desintegrar un átomo que un prejuicio"

Albert Einstein

"No acepten lo habitual como cosa natural pues en tiempos de desorden sangriento, de confusión organizada, de arbitrariedad consciente, de humanidad deshumanizada, nada debe parecer imposible de cambiar."

Bertolt Brecht

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, por darnos el espacio, el apoyo y la libertad para desarrollar esta asignatura.

A todos nuestros estudiantes, de grado y posgrado, que con sus observaciones, inquietudes, comentarios y preguntas, nos incentivaron a profundizar e investigar en esta compleja y apasionante disciplina.

A los agricultores y agricultoras que nos han permitido visitar sus fincas y han compartido sus experiencias, inquietudes y conocimientos.

A nuestros amigos agroecólogos que nos han brindado sus conocimientos y nos han aconsejado y guiado con afecto.

A nuestros maestros, los que nos precedieron, los que nos enseñaron, los que nos guiaron.

ÍNDICE

Presentación.....	7
Prólogo.....	10
 Parte 1. BASES CONCEPTUALES DE LA AGROECOLOGÍA Y AGRICULTURA SUSTENTABLE	
Capítulo 1. La insustentabilidad del modelo agrícola actual, <i>Santiago J. Sarandon & Claudia C. Flores</i>.....	13
Capítulo 2. La Agroecología: el enfoque necesario para una agricultura sustentable, <i>Santiago J. Sarandón & Claudia C. Flores</i>.....	42
Capítulo 3. Sustentabilidad ecológica vs. rentabilidad económica. El análisis económico de la sustentabilidad, <i>Claudia C. Flores & Santiago J. Sarandón</i>.....	70
 Parte 2. ASPECTOS BÁSICOS DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS AGROECOSISTEMAS	
Capítulo 4. El agroecosistema: un ecosistema modificado, <i>Santiago J. Sarandón</i>.....	100
Capítulo 5. La biodiversidad en los agroecosistemas, <i>Susana A. Stupino, María José Iermanó, Natalia A. Gargoloff & María Margarita Bonicatto</i>.....	131
Capítulo 6. Desarrollo y evolución de los ecosistemas, <i>Claudia C. Flores & Santiago J. Sarandón</i>.....	159
Capítulo 7. La energía en los agroecosistemas, <i>Claudia C. Flores & Santiago J. Sarandón</i>.....	190
Capítulo 8. Manejo de nutrientes en los agroecosistemas, <i>Esteban A. Abbona & Santiago J. Sarandón</i>.....	211
Capítulo 9. Principios de ecología de poblaciones, <i>María Fernanda Paleologos & Santiago J. Sarandón</i>.....	235
 Parte 3. BASES ECOLÓGICAS PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DE AGROECOSISTEMAS	
Capítulo 10. Principios para el manejo ecológico de plagas, <i>María Fernanda Paleologos & Claudia C. Flores</i>.....	260

Capítulo 11. Principios de manejo ecológico de malezas, Griselda E. Sánchez Vallduví & Santiago J. Sarandón.....	286
Capítulo 12. Principios de manejo ecológico de enfermedades de cultivos, Cecilia Mónaco.....	314
Capítulo 13. Manejo de la biodiversidad en agroecosistemas, Claudia C. Flores & Santiago J. Sarandón.....	342
Parte 4. EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD DE AGROECOSISTEMAS. PRACTICAS ALTERNATIVAS DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA	
Capítulo 14. Análisis y evaluación de agroecosistemas: construcción y aplicación de indicadores, Santiago J. Sarandón & Claudia C. Flores.....	375
Capítulo 15. Transición agroecológica de sistemas convencionales de producción a sistemas de base ecológica. Características, criterios y estrategias, Mariana E. Marasas, María Luz Blandi, Nadia Dubrosky Berensztein & Valentina Fernández.....	411
Capítulo 16. El caso de “La Aurora”: un ejemplo de aplicación del enfoque agroecológico en sistemas extensivos del sudeste de la provincia de Buenos Aires, Benito Juárez, Argentina, Eduardo O. Cerdá, Santiago J. Sarandón & Claudia C. Flores.....	437
Los autores	464

PRESENTACIÓN

El libro **Agroecología y Desarrollo Sustentable**, editado por Santiago J. Sarandon y Claudia Cecilia Flores de La Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la UNLP, viene a llenar un gran vacío en nuestra literatura agroecológica al entregarnos un libro adaptado a las necesidades del currículo agronómico que se desarrolla en la mayoría de las Universidades e Instituciones de Educación Agropecuaria en América Latina.

El libro se suma a la escuela de pensamiento que define a la Agroecología como la aplicación de conceptos y principios ecológicos en el diseño y gestión de agroecosistemas sostenibles. La Agroecología aprovecha los procesos naturales de las interacciones que se producen en la finca con el fin de reducir el uso de insumos externos y mejorar la eficiencia biológica de los sistemas de cultivo. Esto se logra mediante la ampliación de la biodiversidad funcional de los agroecosistemas, condición esencial para el mantenimiento de los procesos inmunes, metabólicos y reguladores en el funcionamiento del agroecosistema. Los capítulos reflejan este enfoque al profundizar en temas básicos como el rol de la biodiversidad en agroecosistemas, los flujos de energía y nutrientes, la dinámica poblacional de especies, para luego explicar cómo se aplican los principios que rigen la evolución y dinámica del agroecosistema en el manejo de la fertilidad de suelos, plagas y en el diseño de sistemas diversificados sustentables.

El libro termina entregando pautas metodológicas para la evaluación de la sustentabilidad de los agroecosistemas y para cerciorarse de que el proceso de la transición de sistemas convencionales hacia sistemas diversificados y sustentables está sentada en principios y procesos agroecológicos.

Este libro es una contribución clave para una comprensión más profunda de la realidad ecológica de los sistemas agrícolas, ya que con este conocimiento es que las puertas se abrirán a nuevas opciones de diseño y gestión de las opciones agroecológicas, a tono con las necesidades de los agricultores de pequeña y mediana escala y con los objetivos de una agricultura verdaderamente sostenible, que promueva la soberanía alimentaria y la resiliencia de los agroecosistemas.

Aunque el libro no profundiza en las dimensiones sociales y económicas de la Agroecología, al trascender las líneas disciplinarias especializadas bajo las cuales se organizan los currículos agronómicos convencionales, los autores reconocen que los componentes biofísicos y socioeconómicos de los agroecosistemas no se pueden estudiar por separado. El enfoque convencional cartesiano, ha impedido a miles de estudiantes abordar la complejidad de los sistemas alimentarios y su base de recursos naturales. Por ello, las universidades no han sido capaces de formar a futuros líderes, capacitados para hacer frente a los desafíos agrícolas de hoy que han pasado de ser meramente técnicos, a ser más complejos con dimensiones sociales, culturales, políticas y económicas. Esto requiere una comprensión transdisciplinaria de la producción agrícola y un profundo conocimiento de las diversas fuerzas que influyen a los sistemas alimentarios, lo que implica estudios holísticos agrarios que analicen la relación entre la agricultura, el medio ambiente y los sistemas sociales.

Clara Inés Nicholls, PhD.

Presidenta Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA)

La búsqueda de la sustentabilidad, como garantía de la manutención de la vida en el planeta Tierra, hoy y en el futuro, requiere que repensemos la agricultura y el desarrollo rural de forma sistémica, incorporando los diferentes contextos sociales, económicos, ecológicos y tecnológicos de cada región.

La Agroecología es el campo de conocimiento que tiene ese objetivo, buscando rediseñar los agroecosistemas para volverlos más sustentables, en un proceso designado como “transición agroecológica”. En este sentido, se vuelve necesaria la construcción del conocimiento agroecológico con base en la articulación de conocimientos locales y académicos y con la efectiva (e imprescindible) participación de la sociedad.

Para eso es fundamental que tengamos referencias sólidas en Agroecología para la formación de profesionales capaces de apoyar los procesos de transición agroecológica. Es exactamente esto lo que la Cátedra de Agroecología de la UNLP consiguió reunir en este libro: sólidos conocimientos sobre el funcionamiento y desarrollo de los agroecosistemas, contextualizados en las realidades de la agricultura argentina y presentados en forma accesible. Es el resultado de un trabajo de un equipo de vasto conocimiento interdisciplinar y agroecológico, que reunió en este libro, de manera muy didáctica, una visión consistente y profunda de la Agroecología.

Se presentan elementos teóricos fundamentales, combinados con análisis de los problemas contemporáneos de la agricultura, y con aspectos aplicados al manejo ecológico de los agroecosistemas. Todos estos temas son desarrollados y fundamentados en experiencias locales y en trabajos académicos que están siendo realizados por el grupo ligado a la Cátedra de Agroecología de la UNLP desde hace más de una década.

De esta manera, esta obra se constituye en una significativa contribución, no sólo como libro de texto para los cursos de la Universidad Nacional de La Plata, sino también como una referencia en Agroecología para todo el mundo.

Fábio Kessler Dal Soglio

Professor Investigador de la Universidad Federal de Rio Grande Do Sul (UFRGS), Brasil. Editor de la Revista Brasileira de Agroecología. Ex Presidente y Miembro de ABA (Asociación Brasileira de Agroecología).

Nuevos caminos para la agricultura...

La agricultura mundial y particularmente la de la Argentina, ha enfrentado importantes transformaciones tecnoproductivas en los últimos veinte años. La llamada agricultura industrial y su modelo de producción biomásico ha perdido el foco significativo que debería haber tenido a los alimentos y su acceso como norte principal.

Las nuevas tecnologías diseñadas para responder a un gigantismo financiero y tecnológico están facilitando un proceso expansivo que demanda recursos naturales de base (tierras, agua, biodiversidad) y necesita sistemáticamente menos personas trabajando y familias en el sector rural: ¿un destino inexorable? Ciertamente, que no. La obra que llega a nuestras manos, de Santiago Sarandón y Claudia Flores (editores), propone un camino diferente, particularizando especialmente en nuestra región y en un objetivo básico: Enseñar. ¿Enseñar? Sí, educar y primeramente a los estudiantes, investigadores y analistas del sector rural. Mostrar que, desde la mejor ciencia y tecnología, desde el conocimiento integrado y desde una mirada amplia y sin preconcepciones – justamente contruidos por los poderosos intereses que esconde el poder agropecuario global – acerca una base propositiva y formativa de una disciplina compleja y nueva para las “Agronomías”: la Agroecología.

Un material imprescindible para la formación de los futuros ingenieros agrónomos y también para los que, ya mayores, debimos nutrirnos en otros espacios, cuando encontrábamos tantas preguntas sin responder y vacíos de información y formación que los escenarios formales de nuestras Facultades no sabían o no querían acercarnos en otros tiempos. Hoy en día, las cosas han cambiado, la revolución verde ha mostrado sus éxitos pero también sus notables fracasos, la biorrevolución esconde otros tantos y nuevos vicios y problemas, mientras la crisis alimentaria está a la vuelta de la esquina. Ahora, ya no en soledad – como anteriormente muchas veces lo hacía Sarandón y sus colegas en la Universidad de La Plata - sino acompañado desde lo formal y desde la decisión de tener nuevos y mejor formados Ingenieros Agrónomos un nuevo Faro Agroecológico se yergue desde la sureña ciudad de La Plata y hoy nos trae esta obra como un aporte notable a la consolidación de una nueva formación que hoy se demanda tanto en el plano local, regional como hasta mismo el global, donde organismos tan importantes como la FAO o el PNUMA ven en la Agroecología y en la Agricultura Familiar, cuando se vincula a la primera, la gran oportunidad para sostener las formas diversas de alimentación y combatir el hambre globalmente pero también en el fondo de casa, en forma directa y pragmática, sin los discursos inútiles y rimbombantes de “alimentando al mundo”....

Dr. Walter A. Pengué

GEPAMA UBA/ECOLOGIA UNGS/RP UNEP

PRÓLOGO

Los importantes problemas ambientales y sociales de la agricultura moderna señalan la necesidad de lograr un cambio hacia sistemas más sustentables. La Agroecología surge con gran fuerza en los últimos años, como un nuevo enfoque científico que pretende encarar este desafío desde otro paradigma. La Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la UNLP ha sido una de las pioneras en incorporar la Agroecología como una materia de grado obligatoria e integradora, en la formación de profesionales del campo de la Agronomía.

El dictado de cursos en esta temática ha tropezado, muchas veces con la falta de bibliografía adecuada. No es sencillo encontrar libros sobre la temática y, mucho menos, libros de texto adaptados a los contenidos de grado y a las condiciones de nuestra región. Contar con un texto en castellano, claro y ordenado, es sumamente necesario e importante para el desarrollo de la asignatura y como material de guía y consulta para alumnos de grado y posgrado, profesores y profesionales interesados.

Este es el desafío que el grupo de Agroecología de La Plata ha encarado, basado en años de docencia, extensión e investigación en este campo. Se ha buscado volcar la experiencia de estos años, gran cantidad de información propia, y sistematizar información de otros autores, para crear un material de relevancia para esta área temática.

Este libro se ha estructurado en 4 grandes partes. La primer parte, conceptual consta de 3 capítulos. El primero analiza el impacto de las actividades agropecuarias. El capítulo 2 aborda los conceptos de agricultura sustentable y el aporte que la Agroecología, como ciencia emergente puede hacer en este sentido. Se analiza qué es la Agroecología y que no es, señalando finalmente las principales características de la misma. Finalmente el capítulo 3, aborda el tema de la economía y la ecología y analiza por qué la evaluación del “éxito” económico de diferentes actividades está asociado, muchas veces, a la insustentabilidad ecológica.

La segunda parte aborda aspectos básicos del funcionamiento de los agroecosistemas y el enfoque de sistemas (capítulo 4). Posteriormente, en el capítulo 5 se introduce al tema de la biodiversidad, agrobiodiversidad y su importancia para los agroecosistemas. El capítulo 6 aborda el tema de dos procesos clave en los agroecosistemas como son el de la sucesión

ecológica y la evolución, y la importancia que tienen para un manejo sustentable de los agroecosistemas.

El capítulo 7 aborda el tema de la energía en los agroecosistemas. su importancia, leyes que la gobiernan y la relación con la productividad y la eficiencia energética. El capítulo 8 analiza el tema de los nutrientes en los sistemas agropecuarios, su importancia y manejo. Finalmente el capítulo 9 introduce a las bases de la ecología de poblaciones, analizando las poblaciones y comunidades en los agroecosistemas, sus características, sus dinámicas y la importancia que esto tiene para diseñar diferentes estrategias de manejo.

La tercera parte aborda las bases ecológicas para el manejo sustentable de agroecosistemas. En el capítulo 10 se analizan los principios para un manejo ecológico de plagas, analizando el por qué aparecen en los agroecosistemas y cómo potenciar mecanismos naturales para su manejo. El capítulo 11 aborda el tema del manejo de malezas, ubicándolas como un componente de los agroecosistemas, donde la competencia es sólo una de las interacciones y rescatando sus otros roles ecológicos.

El capítulo 12 aborda los principios para el manejo ecológico de enfermedades. Y, finalmente, el capítulo 13 sintetiza algunas posibilidades y criterios para el manejo de la biodiversidad en los agroecosistemas, entre otros mediante rotaciones, policultivos, corredores de vegetación, etc.

La parte 4 presenta ejemplos sobre la evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas (capítulo 14), aspectos a tener en cuenta en la transición de sistemas intensivos a sistemas de base agroecológica (capítulo 15). Y finalmente, en el capítulo 16 se presenta y analiza un caso de manejo de un sistema extensivo de producción en la Pampa Argentina, utilizando los principios y conocimientos de Agroecología abordados en los capítulos anteriores de este libro.

Se ha pretendido lograr un lenguaje claro, pero bien fundamentado, de lectura sencilla pero con contenidos importantes. Al final de cada capítulo se han agregado un conjunto de preguntas como guía para el repaso y la reflexión. Esperamos que este libro sirva de referencia y obra de consulta para estudiantes y profesores de universidades y de Instituciones de Educación Agropecuaria, y a todos aquellos interesados en esta temática.

Parte 1

BASES CONCEPTUALES DE LA AGROECOLOGÍA Y AGRICULTURA SUSTENTABLE

CAPÍTULO 1

LA INSUSTENTABILIDAD DEL MODELO DE AGRICULTURA ACTUAL

Santiago J. Sarandón y Claudia C. Flores

Introducción

La agricultura es una de las actividades humanas más importantes. Pareciera que ha existido desde tiempos inmemoriales y va a existir por siempre. Sin embargo, durante la mayor parte de su historia en el planeta, la especie humana no practicó la agricultura: se adecuó a la naturaleza, viviendo de la caza y la recolección. Si pudiéramos equiparar la historia del género humano con 1 año calendario (habríamos aparecido sobre la tierra el 1 de enero), la agricultura habría surgido recién el 30 de diciembre a las 4 de la mañana. Es decir, que durante la mayor parte de la historia de la humanidad el ser humano se alimentó, se vistió y satisfizo sus necesidades básicas sin practicar la agricultura. La agricultura moderna, que nos resulta tan familiar, basada en la masiva aplicación de agroquímicos y el uso de cultivares e híbridos de alto potencial de rendimiento, recién habría hecho su aparición 13 minutos antes de la medianoche del 31 de diciembre; tan sólo un instante en la historia de nuestro género sobre este planeta. Sin embargo, en estos 13 minutos en que hemos aplicado nuestros conocimientos científicos y nuestra "sabiduría" a la agricultura, hemos originado una serie de problemas de tal magnitud, que están poniendo en duda la posibilidad de alimentar a las futuras generaciones.

Es cierto que la tecnificación de la agricultura ha incrementado, a través de un mayor rendimiento (por unidad de área) de los cultivos, la producción de alimentos en el mundo, pero no es menos cierto también, que esto ha estado basado en el uso de dosis masivas de insumos costosos y/o escasos: combustibles fósiles, plaguicidas, fertilizantes, semillas híbridas, maquinarias, agua para riego, etc. A su vez, este modelo de agricultura, tampoco ha logrado

solucionar el problema del hambre en la población mundial: actualmente hay 1.200 millones de personas desnutridas, con dietas que no cumplen el mínimo necesario de calorías.

El objetivo de este Capítulo es analizar el modelo de agricultura vigente, entender su impacto transformador del territorio, y analizar sus consecuencias para el ambiente y para la sustentabilidad de los agroecosistemas.

La Revolución Verde: el cambio de paradigma en agricultura

No es posible entender la agricultura actual, sin analizar la influencia que en ella ha tenido lo que se conoce como Revolución Verde. El término "Revolución Verde" fue acuñado en 1968 por William Gaud, (administrador de la Agencia Estadounidense para el Desarrollo Internacional-USAID), para referirse al incremento sorprendente y repentino de la producción de granos que ocurrió en varios países en vías de desarrollo a mediados de los años '60. Este aumento fue producto, entre otras cosas, de la difusión de variedades de trigo y arroz de alto potencial de rendimiento desarrolladas después de la Segunda Guerra Mundial, con el objetivo de solucionar el problema de hambre en el mundo. Las semillas "milagrosas" se difundieron rápidamente gracias al importante apoyo de los Centros Internacionales de Investigación Agrícola (entre ellos el Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y Trigo (CIMMYT)) creados por las Fundaciones Ford y Rockefeller, y al poco tiempo también se desarrollaron nuevos tipos de arroz y de maíz.

Este movimiento consideró que el problema del hambre en algunas regiones del planeta, se debía a la baja productividad de los cultivos y ésta a la inadecuada elección de los cultivares (genotipos) que se utilizaban, ya que no soportaban altas dosis de fertilizante (se volcaban). Por lo tanto, según este diagnóstico, la solución era cambiar el genotipo o tipo de cultivares. Y eso fue lo que hizo la Revolución Verde: desarrolló arroces y trigos enanos o semienanos que podían soportar altas dosis de fertilizantes sin volcarse. En nuestro país, estos materiales, sobre todo de trigo, llegaron provenientes de

uno de los más famosos de los Centros Internacionales creados por la Revolución Verde: el CIMMYT, con sede en México. Por eso se conocieron aquí como trigos mexicanos, o con germoplasma mexicano.

Esto significó un cambio sustancial del paradigma agrícola imperante hasta el momento: la disponibilidad y el uso de numerosas **variedades (ecotipos, razas locales) adaptadas a la variabilidad natural de los agroecosistemas**, se sustituyó por algunas pocas variedades de **alto potencial de rendimiento**, las cuales brindaban una promesa teórica de alta productividad por unidad de área (rendimiento), en tanto y en cuanto **el ambiente se adaptara a sus requerimientos**. Es decir, necesitaban que se les suministraran las condiciones necesarias para expresar este potencial de rendimiento. Este intento por brindarles el ambiente adecuado a las nuevas variedades implicó que, paulatinamente, se incorporaran masivamente fertilizantes, agroquímicos para el control de plagas, enfermedades y malezas, maquinarias, combustibles y riego. Ya no era necesario tener y conocer un gran número de variedades adaptadas a diferentes condiciones: unas pocas y bien rendidoras era todo lo que se necesitaba, siempre y cuando se les dieran las condiciones necesarias para expresar su potencial.

El ambiente al servicio del genotipo: La Revolución Verde introdujo y generalizó la idea de modificar el ambiente para permitir expresar el alto potencial de rendimiento de pocas variedades en lugar de conservar una alta variabilidad genética para adecuarse a la gran diversidad de ambientes que constituyen los agroecosistemas. El problema de este enfoque es el alto costo ambiental que genera.

A partir de este cambio de paradigma, la capacidad de las plantas de transformar energía luminosa en energía química a través del fenómeno de la fotosíntesis quedó condicionada, en los sistemas agrícolas, al suministro de ciertos recursos que no pueden considerarse totalmente renovables, como combustibles fósiles y recursos minerales.

A pocos años del inicio de la Revolución Verde, la agricultura que ha sido considerada, desde siempre, como la actividad de uso racional y renovable de

los recursos naturales por excelencia (en consecuencia sustentable) empiece a ver cuestionada su sustentabilidad por una serie de impactos ecológicos, económicos y sociales, derivados de las prácticas “modernas” de producción.

La insustentabilidad de la “Agricultura Moderna”: los impactos negativos del modelo de la Revolución Verde

Es innegable que el modelo de la Revolución Verde logró un incremento significativo de la producción y productividad agrícola. En Argentina, desde 1989 hasta el 2011, la producción de granos se incrementó en un 60% y la superficie agrícola sólo el 24% (CASAFA, 2011). Sin embargo, este modelo estuvo asociado a una serie de problemas sociales y ambientales, algunos de ellos de gran magnitud, que ponen en duda su permanencia en el tiempo. (Tabla 1.1).

Uso de agroquímicos

Una de las principales características de este proceso fue el incremento en el uso de insumos químicos. A pesar de las promesas del control total de plagas que surgieron cuando aparecieron los primeros pesticidas, el uso de insecticidas y herbicidas ha aumentado en los últimos años mostrando una tendencia preocupante: en Argentina, se pasó de un consumo de 73 millones de kg /l en 1995, a 236 millones de kg/l en el año 2005 (CASAFA, 2011) (Figura 1.1). En Brasil, existe preocupación porque el proceso productivo agrícola brasileiro depende, cada vez más, de los agrotóxicos y fertilizantes químicos (ABRASCO, 2012). Según esta publicación, en los últimos 10 años, el mercado mundial de agrotóxicos creció un 93%, mientras que el mercado brasileiro creció un 190%, utilizándose 853 Millones de litros, con una media de 12 l/ha. En 2008, el Brasil, superó a los Estados Unidos y se constituyó en el mayor mercado mundial de agrotóxicos. Los autores de esta publicación señalan su

preocupación porque de los 50 productos más utilizados en el país, 22 están prohibidos en la Unión Europea (ABRASCO, 2012).

- Dependencia creciente de agroquímicos (insecticidas, herbicidas, fungicidas, fertilizantes).
- Contaminación de alimentos, aguas, suelos y personas por pesticidas y productos derivados del uso de fertilizantes sintéticos (nitratos y P en las aguas).
- Desarrollo de resistencia a los plaguicidas de ciertas plagas y patógenos.
- Pérdida de la capacidad productiva de los suelos, debido a la erosión, degradación, salinización y desertificación de los mismos. Pérdida de nutrientes de los suelos debida a la falta de reposición, junto con lixiviación y baja eficiencia en el uso de fertilizantes.
- Colmatación de cuerpos de agua (sedimentos). Eutrofización de embalses. Disminución de los acuíferos en zonas de regadío.
- Dependencia creciente de combustibles fósiles y la disminución de la eficiencia productiva en términos energéticos (cada vez se requiere más energía para mantener o aumentar la productividad de los cultivos).
- Pérdida de biodiversidad: Efecto de agroquímicos y simplificación de hábitats.
- Pérdida de variabilidad genética de los principales cultivos (erosión génica).
- El desplazamiento de algunas técnicas de cultivo propias de agricultores/as tradicionales por la tecnología “moderna” supuestamente de aplicación universal (erosión cultural).
- Contribución al calentamiento global del planeta y disminución de la capa de ozono.
- No ha sido aplicable a todos los agricultores/as.
- No ha solucionado el problema de la pobreza rural.

Tabla 1.1: Características de este modelo de agricultura, que la hacen inviable y permiten dudar de su sustentabilidad en el tiempo (de Sarandón & Sarandón 1993, modificado)

Aunque en algunos países industrializados su uso ha declinado, la toxicidad de los principios activos puede no disminuir, e incluso aumentar, como señaló Mc Ginn (2000b), por lo que la cantidad de producto liberado puede seguir aumentando.

Esta intensificación en el uso de insumos químicos en la agricultura, junto con el uso inapropiado de ciertas tecnologías, provocaron impactos que perjudicaron, tanto a los recursos propios de los sistemas agrícolas, atentando

contra su capacidad productiva, como a los recursos globales o de otros sistemas (ciudades, ríos, lagos, atmósfera) y a las personas que forman parte de ellos.

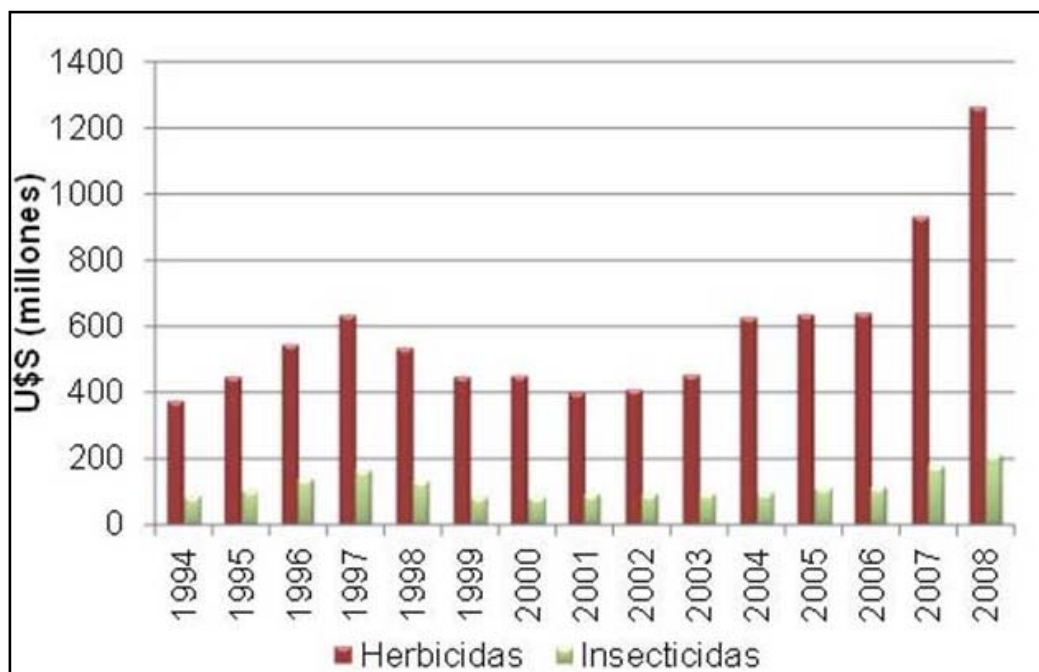


Figura 1.1: Evolución del consumo de agroquímicos en Argentina en el período 1994-2008 (en millones de dólares estadounidenses)

Contaminación por plaguicidas

Los plaguicidas utilizados en la agricultura pueden tener efectos negativos sobre la población relacionada directamente con las actividades agropecuarias y también con la salud de los consumidores de los productos provenientes de las mismas (Anexo 1.1). Cada año, un millón de personas (mayormente pobladores rurales expuestos permanentemente al contacto con los plaguicidas) se intoxican en forma accidental (PNUMA, 1990).

En la Argentina, el diario Clarín, uno de los más leídos del país, señaló el 1/4/2006 que en Córdoba, se había encontrado un pesticida prohibido (hexacloro ciclohexano, incluido en el listado de la "docena sucia") en la sangre de 23 chicos cordobeses. Es "posiblemente cancerígeno", señalaba el informe,

y apareció en estudios hechos a 30 niños de 4 a 14 años. Asimismo, una investigación realizada en Buenos Aires, detectó la presencia de pesticidas organoclorados prohibidos en el país, como el DDT, Mirex y Endosulfán en la leche materna de madres puérperas. El 90,5 % de los casos estudiados tenía residuos de, por lo menos, un plaguicida (Parsehian & Grandi, 2003).

Anexo 1.1

En la actualidad casi no se concibe la posibilidad de una agricultura sin un importante aporte de los agroquímicos, fundamentalmente pesticidas. Como señala Mc Ginn (2000a) “la agricultura moderna tiene una seria dependencia de agroquímicos - una adicción a los pesticidas”. La aparición de los plaguicidas de síntesis abrió una nueva era en el control de las principales adversidades bióticas que limitaban la producción de los cultivos. El bajo costo de estos productos, su fácil aplicación, el desconocimiento y la falta de conciencia acerca de su impacto sobre el ser humano y los ecosistemas, facilitaron su difusión de manera sorprendente. El desarrollo de los plaguicidas de síntesis fue recibido como un triunfo del hombre sobre la naturaleza. A tal punto, que el químico Paul Müller, recibió en 1948 el premio Nobel, por haber desarrollado el DDT.

Sin embargo, la ilusión duró sólo unos pocos años. En 1964 Rachel Carson publicó su famoso libro *La primavera silenciosa* (Carson, 1964) donde la peligrosidad de los plaguicidas fue puesta en evidencia con una crudeza inusitada y las cosas ya no volvieron a ser como antes.

Irónicamente, los mismos pesticidas que fueron vistos durante muchos años como un símbolo del triunfo del hombre sobre la naturaleza, hoy son puestos en las listas negras de numerosos países (por su extrema peligrosidad). Nueve de los 12 productos químicos más peligrosos que existen, denominados la “docena sucia”, fueron desarrollados y promovidos como insecticidas o fungicidas para su uso en la agricultura. Ellos son el Aldrin, Clordano, DDT, Dieldrin, Endrin, Heptacloro, Hexacloro, “Mirex” y “Toxafeno”. Estos productos, definidos como contaminantes orgánicos persistentes, conocidos por su sigla en inglés como POP (persistent organic pollutants), poseen la característica de ser muy tóxicos, acumularse en la cadena alimenticia, ser persistentes en el ambiente y tener el potencial de viajar largas distancias desde su punto de liberación. Estos compuestos, liberados entre 1942 (DDT) y 1959 (“Mirex”), están actualmente prohibidos o restringidos en varios países del mundo.

En la actualidad, en Argentina, existen cada vez más denuncias y casos de intoxicaciones por agroquímicos, hay regiones o franjas donde la de la aplicación de agroquímicos está totalmente prohibida, se observa una demanda creciente de alimentos sin agroquímicos y el problemas de plagas de la agricultura no se ha solucionado, ni mucho menos.

Es evidente que algo anda mal. Y surge entonces la duda o reflexión: nosotros, los agrónomos ¿tenemos alguna responsabilidad en esto? ¿Hay algo que debemos cambiar?

La respuesta parece ser clara ante las crecientes demandas sociales y las problemáticas ambientales asociadas al uso de los agrotóxicos: El poder diseñar y manejar sistemas sin necesidad de usos de agroquímicos será, entre otras cosas, el desafío que enfrentaremos los agrónomos en un futuro muy próximo.

Además, el uso de plaguicidas puede poner en peligro la salud de los consumidores de productos agropecuarios. Análisis efectuados por el Laboratorio del Mercado Central de la Ciudad de Buenos Aires, durante 1988 y 1989, mostraron que el 29,5 y el 14,2 % de las muestras de papa y apio

respectivamente, presentaban restos de plaguicidas superiores a los niveles tolerables, por lo que fueron consideradas no aptas para el consumo (Limongelli *et al.*, 1991). En Brasil, un tercio de los alimentos consumidos cotidianamente está contaminado por agrotóxicos, según un análisis de muestras recolectadas realizada por el programa de análisis de residuos de agrotóxicos en alimentos de ANVISA (2011).

En los EE.UU., un 26% de 15 frutas y hortalizas evaluadas por el Departamento de Agricultura de la Florida, mostraron la presencia de 2 o más pesticidas, entre ellos alguno prohibido como el DDT (Florida Department of Agriculture, 1987).

En un estudio en la Ciudad de México, en 96 muestras de leche comerciales, Prado *et al.* (1998) encontraron compuestos sumamente tóxicos y generalmente prohibidos, en cantidades que sobrepasaban en algunos casos el valor máximo permitido hasta 2,70 veces (Endrin) y hasta 2,21 veces, estando contaminadas hasta el 47,90 % de las muestras (Lindano).

Resistencia creciente a los plaguicidas

Una de las consecuencias del uso indiscriminado de agroquímicos, que actualmente se está transformando en una gran preocupación, es la pérdida de efectividad de muchos plaguicidas debido al desarrollo de resistencia por parte de las especies plagas. Los agricultores/as perciben claramente este problema al observar que la efectividad de los plaguicidas está disminuyendo aceleradamente y que necesitan aplicar más y nuevos productos, para el control de las adversidades bióticas. Para el año 1989, ya se contabilizaban 504 especies de insectos que habían desarrollado resistencia a uno o más pesticidas (PNUMA, 1990). Esto significa la necesidad de uso de nuevos productos y/o de mayores dosis a intervalos más cortos para obtener el mismo resultado. Además, el uso indiscriminado de plaguicidas provoca la eliminación de depredadores naturales y aumenta la probabilidad de aparición de plagas nuevas y más vigorosas (Anexo 1.2).

Anexo 1.2. El caso del picudo del algodón en Nicaragua

Tal vez uno de los ejemplos más dramáticos del uso indiscriminado de agroquímicos y su efecto sobre las plagas es el del control del picudo del algodón en Nicaragua en la década del '60 (Sweezy & Faber, 1990). Luego de 10 años de aplicación de plaguicidas el número de plagas económicamente importantes había aumentado de 5 a 9, los rendimientos cayeron hasta un 30% y el picudo del algodón adquirió 10 veces más resistencia al Metilparathión que antes. En casos extremos los campos se trataban hasta 35 veces en una temporada, llegando el costo de estas labores al 32% del costo total de producción. Asimismo, una plaga secundaria, como la oruga del algodón (*Heliothis zea*) adquirió 45 veces más resistencia al Metilparathión que antes, transformándose en una dificultad adicional.

El problema no es nuevo. En California, de las 25 pestes más serias listadas por el Departamento de Agricultura del Estado de California en 1970, 18 eran resistentes a uno o más insecticidas y 24 habían sido originados por el uso de pesticidas o agravadas por ellos (Luck *et al.*, 1977).

Uno de los casos más paradigmáticos ha sido, sin duda, la aparición, en Salta, Argentina, en el año 2005, de un biotipo de sorgo de Alepo resistente al glifosato. La aplicación de un único herbicida (glifosato) durante un largo período de tiempo en grandes superficies (actualmente 20 millones de hectáreas de monocultivo de soja transgénica RR) ejerció una enorme presión de selección que favoreció la rápida selección de ecotipos resistentes (ver Capítulos 6 y 11).

A esto hay que agregar el efecto destructivo potencial de los plaguicidas sobre la microflora y microfauna del suelo (no suficientemente estudiado), esenciales en los procesos de descomposición de residuos vegetales y en el reciclaje de nutrientes.

Pérdida de capacidad productiva de los suelos

La pérdida de capacidad productiva de los suelos debida a procesos de degradación está aumentando en severidad y extensión en muchas partes del mundo con más del 20% de tierras agrícolas afectadas, el 30% de los bosques

y el 10% de los pastizales, lo que significa que un cuarto de la población mundial depende directamente de suelos degradados (FAO, 2008).

La **erosión de los suelos** es una de las causas principales de la pérdida de esta capacidad productiva. El estudio GLASOD (1990) estimó que la erosión hídrica es el tipo dominante de degradación del suelo y la responsable del 56% de las tierras degradadas en el mundo (11 millones de km²) mientras que la erosión eólica es responsable del 28% de esa degradación. En Argentina, el 20 % del territorio (55 millones de hectáreas), está afectado por erosión hídrica o eólica en grado severo, y crece en aproximadamente 650.000 hectáreas por año (CEPAL, 1999).

En la “Pampa Ondulada”, Argentina, la introducción de la soja en la década del ‘70, en reemplazo del maíz, y la agricultura permanente (rotación trigo-soja), con uso del arado de reja y vertedera, han sido responsabilizadas de la pérdida de 5 a 20 cm de la capa superficial del suelo en una superficie de 1.280.000 has., que representan el 32% de una de las regiones más productivas del país (Senigagliesi, 1991). En sólo 20 años, millones de toneladas de la mejor tierra han ido a parar a los cursos de agua, arrastrando nutrientes indispensables para mantener la productividad de los cultivos y provocando otros problemas derivados de la acumulación de sedimentos en los cuerpos de agua.

La **pérdida de nutrientes** es otro problema importante del cual se ha tomado conciencia en los últimos años y ya ocupa el segundo lugar dentro de los tipos de degradación del suelo en Sudamérica (FAO, 2008). El aumento sostenido en el tiempo de los rendimientos de los cultivos, producto del empleo de los germoplasma de alto potencial de rendimiento, basado en un mayor índice de cosecha (relación grano/planta entera), ha llevado a un incremento permanente de las tasas de extracción de los nutrientes que no fue compensada con una adecuada reposición de los mismos, lo que ha determinado un empobrecimiento de nutrientes del suelo.

Por ejemplo, en el período 1970-1999, la Región Pampeana Argentina perdió 23 millones de Toneladas de nutrientes (N, P, K) de las cuales el 46% correspondieron al cultivo de soja, el 28% al trigo y el 26% al maíz (Flores &

Sarandón, 2003. Los costos económicos de esta pérdida representaron el 20,6%, 20,0% y 18,7% de los márgenes brutos promedios de la década del '80 y '90, respectivamente.

Darwich (2003) ha señalado los valores de las pérdidas de nutrientes N, P y S de los suelos de la Región Pampeana Argentina, en los cultivos de soja, maíz, trigo, girasol y alfalfa por falta de reposición de los nutrientes extraídos por la cosecha (Tabla 1.2). En el caso de la soja este déficit puede llegar hasta 105 kg de N ha⁻¹.

Si bien los balances de N, P, K y S para los cultivos de soja, maíz, trigo y girasol se han equilibrado durante los últimos años, aún siguen siendo negativos. Para la campaña 2009/2010 la fertilización sólo habría alcanzado para reponer un 30%, 39%, menos del 1% y 29% de N, P, K y S respectivamente, de los nutrientes extraídos por cosecha (García & González Sanjuan, 2010).

Cultivo	Rinde	NITRÓGENO			FOSFORO			POTASIO		
		Extr.	Fert.	Bal.	Extr.	Fert.	Bal.	Extr.	Fert.	Bal.
Soja	3.500	210	0	-105	24	12,0	-12	16,5	8,0	-8,5
Maiz	8.000	120	70	-50	24	18,0	-6	14,5	0	-14,5
Trigo	4.000	80	55	-25	15	14,0	-1	4,4	3,0	-1,4
Girasol	2.500	68	30	-38	10	8,0	-2	4,75	0	-4,75
Alfalfa	10.000	250	0	-75	25	16,0	-9	35,0	0	-35,0

Tabla 1.2: Extracción (Extr.) y reposición (Fert.) y balance de Nutrientes (Bal.) (Kg/Ha) para diferentes rendimientos en los principales cultivos de la Región Pampeana Argentina. Año 2002. Modificado de Darwich (2003)

Este extracción “minera” de nutrientes ha sido una de las causas de la aparición de situaciones de creciente respuesta a la fertilización en los diferentes cultivos y en determinadas zonas de la región pampeana, entre ellos el fósforo (Darwich, 1991), el boro (Salvagiotti, 2013) y el azufre (Martínez & Cordone, 2000; Díaz Zorita *et al.*, 2002).

La **pérdida de materia orgánica** es otro proceso de degradación que afecta la productividad de los suelos. En Argentina, los elevados contenidos de materia orgánica de los suelos han sido disminuidos como consecuencia del modelo de producción agrícola (Zubillaga & Zubillaga, 2008). El monocultivo de soja ha agravado esta situación, ya que la cantidad y calidad de su rastrojo, no alcanzan a compensar las pérdidas de carbono edáfico que se producen por mineralización de la materia orgánica (Andriulo, 1999; Fontanetto & Keller, 2003). En buena parte de la Región núcleo sojera se han registrado balances negativos de materia orgánica debido a que el carbono mineralizado anualmente por la soja no es compensado por la escasa cantidad y baja relación C/N de sus rastrojos (Martellotto *et al.*, 2001). Según Fontanetto & Keller, 2003), en la zona núcleo sojera de la Argentina, luego de una soja se pierden 141 Kg/ha de carbono. Con estos datos, Zazo *et al.* (2011) calcularon, para el Partido de Arrecifes (provincia de Buenos Aires), una pérdida anual promedio de C para el cultivo de soja de 7.808 t, lo que significó una pérdida de 13.969 t de carbono en el período comprendido entre 1987-2007.

Este balance negativo de C, conduce, luego de varios años de monocultivo de soja, a que el suelo tienda a densificarse, a formar “pisos” o capas endurecidas que, a su vez, limitan el crecimiento de las raíces, y, en algunos casos, determinan el cambio de dirección de las mismas (Casas, 2006).

Esta **pérdida de la estructura del suelo**, con la aparición de problemas de encostramiento (planchado) y piso de arado, además de producirse por la pérdida de C orgánico, también es producida por el uso excesivo y/o inadecuado de la maquinaria agrícola. Como consecuencia de dicha pérdida, disminuye la capacidad de infiltración de agua y provoca un aumento en el número de labores para mantener el suelo en condiciones productivas. Este exceso de laboreo disminuye, a su vez, el contenido de materia orgánica y por lo tanto la fertilidad, provocando el incremento en el uso de fertilizantes sintéticos para restituirla.

Deterioro de los cuerpos de aguas superficiales y subterráneas

El agua es sin dudas uno de los recursos más importantes y valiosos para la agricultura y para la humanidad. Aunque el agua abunda en nuestro planeta (2/3 de su superficie están cubiertas por agua) y forma parte de un ciclo que parece no agotarse nunca, hay dos características que deben ser tenidas en cuenta y que pueden significar un serio problema para los humanos: su calidad y su disponibilidad. La mayor parte del agua es salada y, por tanto, no útil para la mayoría de los usos, entre ellos el consumo humano y el riego para la agricultura. Por lo tanto, la disponibilidad de agua dulce impone importantes restricciones a su uso indiscriminado. La agricultura es la actividad humana que hace un mayor uso del agua para consumo. Por lo tanto, el modelo de agricultura elegido, tendrá un gran impacto sobre este recurso. De alguna manera, la disponibilidad de agua de calidad, es una de las principales limitantes a la productividad de los cultivos a escala mundial.

La degradación de la calidad del agua y la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, son los mayores problemas que enfrenta la gestión de los recursos hídricos en América Latina (CEPAL, 1999). Existen importantes evidencias de **contaminación de las aguas destinadas al consumo con plaguicidas y/o con derivados de fertilizantes** (como los nitratos), sobre todo en países desarrollados donde se hace un mayor consumo de agroquímicos (Newbould, 1989). En los estados del cinturón maicero de los Estados Unidos, existen datos que demuestran la contaminación de las aguas, aún después del tratamiento de potabilización, con herbicidas e insecticidas (Figura 1.2). En el estado de Iowa, EE.UU., un 82% de las muestras de agua superficiales utilizadas para bebida humana contenían 2 o más pesticidas, entre ellos Alaclor y Atrazina, considerados con posibles efectos cancerígenos (NRC, 1989). En Almería (España), tal vez la zona con mayor superficie de invernáculos del mundo, se encontró una alta frecuencia de muestras de agua que contenían los plaguicidas endosulfán y clorpirifós (Martínez Vidal *et al.*, 2004). Aparentemente, muchos de estos plaguicidas no son fácilmente

eliminados por los tratamientos de potabilización, ni siquiera por los más sofisticados.

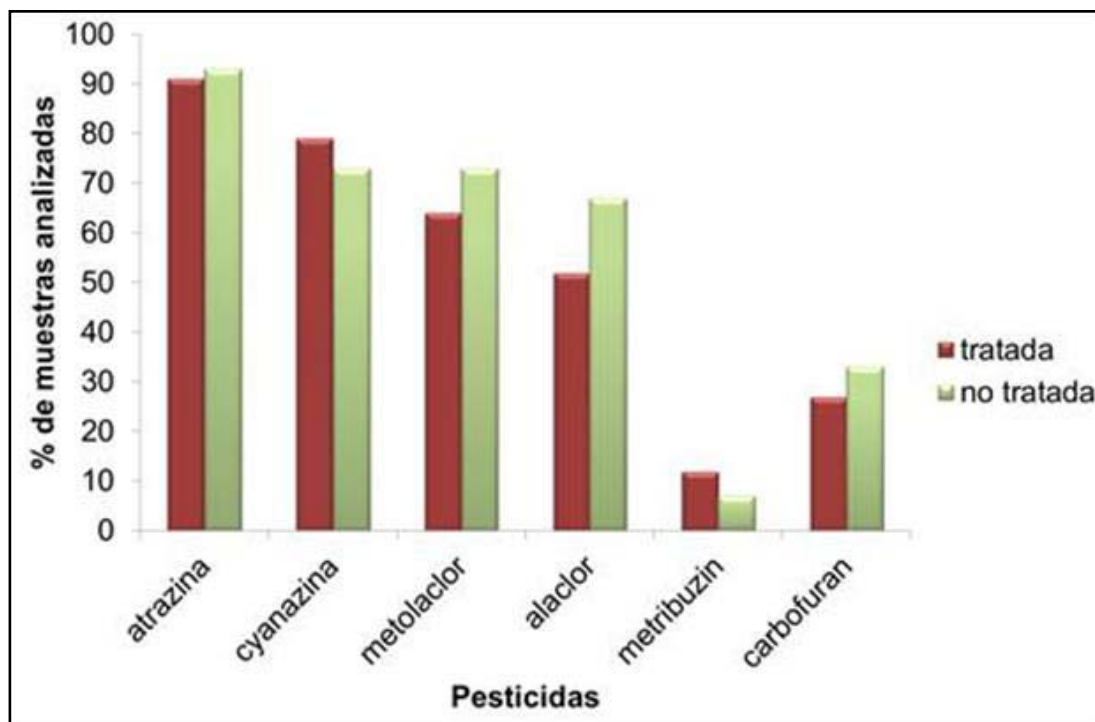


Figura 1.2: Porcentaje de muestras que presentaron restos de plaguicidas en el agua tratada para su potabilización y no tratada, en el estado maicero de IOWA, EE.UU. (NRC, 1989)

La **contaminación de los cuerpos de agua por exceso de fertilizantes** es un grave problema en países desarrollados o industrializados donde la agricultura se realiza con altas dosis de uso de fertilizantes y con una eficiencia en su uso muy baja debida, entre otras causas, al exceso de aplicación. Un 25% de los estados de EE.UU. tienen niveles de nitratos en aguas subterráneas superiores al límite recomendado de 3 mg.l^{-1} y en algunos supera el nivel de 10 mg.l^{-1} (NRC, 1989). En la Argentina, se ha citado un aumento en el número de casos de metahemoglobinemia (enfermedad relacionada con los nitratos en agua), en la población escolar de zonas hortícolas del Gran Buenos Aires, que se caracterizan por la aplicación intensiva de fertilizantes (Catoggio, 1991).

La **colmatación de embalses** por arrastre de sedimentos o deposición de nutrientes, resultado de los fenómenos erosivos, es otra consecuencia importante de las actividades agrícolas. Se calcula que este efecto es económicamente 8 veces más importante que la pérdida de productividad del suelo (USDA, 1987). Los sedimentos arrastrados ocasionan turbidez en el agua afectando la captación de luz por las plantas acuáticas y por lo tanto de quienes se alimentan de ellas. Además, la calidad del agua disminuye para su uso recreativo, navegable y aumenta los costos de su procesamiento para el consumo humano.

La **eutrofización de los cuerpos de agua** (enriquecimiento de nutrientes del agua) es otro problema bastante común en países que utilizan grandes cantidades de fertilizantes nitrogenados y fosforados. Esto disminuye la calidad del agua para consumo humano o usos recreativos por la proliferación de hongos y plantas acuáticas. En algunos casos, estos organismos pueden producir olores desagradables e incluso toxinas que pueden ocasionar mortandad masiva de peces, aves o mamíferos.

Otro efecto de este modelo de agricultura sobre el recurso hídrico es **la disminución del nivel de los acuíferos** por el aumento de las superficies bajo riego (en cultivos tradicionalmente de secano) como consecuencia de una velocidad en el uso de agua mayor que la capacidad de recarga.

De todas las vulnerabilidades que caracterizan a la agricultura bajo riego en la actualidad, ninguna parece mayor que la disminución de los niveles de los acuíferos. Aunque el agua se “obtiene” o “encuentra” cavando un pozo dentro de los límites de la finca o predio, la misma no pertenece a nuestro sistema, sólo hacemos uso de ella; y a veces en forma no adecuada. La disminución del acuífero se debe a que, muchas veces, se utiliza el agua a una velocidad mayor que la capacidad de recarga, a veces con el objetivo de maximizar los rendimientos en cultivos de alto valor pero poco eficientes en el uso del agua.

En nuestro país y en otros países del mundo, se ha verificado un crecimiento importante de las áreas bajo riego de grandes cultivos en zonas tradicionalmente de secano, basado, fundamentalmente en el uso del agua subterránea. Este aumento de la superficie bajo riego tiene importantes efectos

sobre la disminución de los niveles de los acuíferos. En la India, se han citado disminuciones del nivel de las napas de agua a un ritmo de 0,50 m por año en grandes áreas de la zona del Punja (Postel, 2000). En ciertas regiones de EE.UU., en el 45% del área irrigada el acuífero ha disminuido a un ritmo de 0,30 m por año y en Nebraska a unos 0,60 m por año. En las grandes planicies del Norte de Texas, donde la recarga del acuífero es lenta, este ha disminuido a niveles que restringen su uso agrícola (NRC, 1989).

A su vez, el uso de riego está asociado con un aumento en las dosis de agroquímicos, principalmente fertilizantes, los que resultan necesarios dentro de un paquete tecnológico de mayores insumos. Por lo tanto, también aumenta el riesgo de percolación y contaminación de los acuíferos.

Disminución de la eficiencia energética

La energía es un recurso imprescindible para la existencia y el manejo de los agroecosistemas (ver Capítulo 4 y 7). Aunque el rendimiento de los cultivos ha aumentado sensiblemente en las últimas décadas, la energía necesaria (en forma de insumos, maquinaria y combustibles) invertida para lograrlo, en muchos casos, se ha incrementado en forma más que proporcional. Por lo tanto, la eficiencia energética (energía cosechada por unidad de energía utilizada) ha disminuido peligrosamente. Según Pimentel *et al.* (1990) desde el año 1700 hasta 1900 el incremento en el uso de la energía (principalmente fósil) aumentó 17 veces, mientras que, en el mismo período, los rendimientos del maíz aumentaron sólo 3 veces. En China, Dazhong & Pimentel (1990) citan que desde 1950 la energía utilizada en la agricultura (con el advenimiento de los fertilizantes sintéticos, pesticidas y maquinaria) aumentó unas 100 veces para incrementar los rendimientos 3 veces. Esto significa que cada vez se requiere más energía para producir aumentos en los rendimientos.

El modelo agrícola moderno, intensivo y altamente productivo, se basa en el uso de elevadas cantidades de insumos derivados del petróleo, en forma de aportes directos de combustibles e indirectos para la producción de

agroquímicos, fertilizantes, maquinaria y semillas (Gliessman, 2001). En algunos sistemas, la proporción de energía renovable representa sólo un 7 a 16% de la energía primaria total utilizada, mostrando la alta dependencia de energía no renovable de los modelos intensivos de agricultura (Grönross, 2006).

La eficiencia energética, entendida como unidades de energía cosechada por cada unidad de energía suministrada, ha sido analizada en diversos sistemas de producción (Ozkan *et al.*, 2003; Flores *et al.*, 2004, Iermanó y Sarandón, 2009a, 2009b, 2010) mostrando, en muchos casos, valores cercanos a la unidad o aún menores. En cierto sentido, la agricultura moderna de altos insumos consiste en transformar la energía proveniente de los combustibles fósiles en alimentos o fibra. Energía que ha tardado millones de años en acumularse se está consumiendo a un ritmo excesivamente acelerado. La explotación petrolera es una actividad minera y no productiva y la posibilidad de mantener este ritmo de extracción por mucho tiempo, parece totalmente improbable. La idea de utilizar la propia agricultura para producir energía, mediante los denominados agrocombustibles, (principalmente el etanol y el biodiesel) aparece también como poco probable desde el punto de vista de la eficiencia energética, y, además, plantea una serie de problemas ecológicos de gran magnitud (Iermanó & Sarandón, 2009a) (ver Capítulo 7).

Pérdida de biodiversidad: erosión genética

La producción agropecuaria está relacionada también con otros efectos negativos para la calidad del ambiente, cuyas consecuencias pueden parecer menos evidentes por presentarse en una escala más global. Uno de ellos es la pérdida de biodiversidad y la extinción acelerada de especies.

La biodiversidad o diversidad biológica (DB) es definida como “(*...la variabilidad entre organismos vivientes de todo tipo u origen, incluyendo, entre otros, ecosistemas terrestres, marinos y otros sistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los cuales ellos forman parte.* Esto incluye diversidad dentro de las especies (genética), entre especies (específica) y de

ecosistemas” (UNEP, 1994) La Convención sobre Diversidad Biológica (CDB) reconoce explícitamente “el valor intrínseco de la DB y de los valores ecológicos, genéticos, económicos, sociales, científicos, educacionales, recreativos, culturales y estéticos de la diversidad biológica y sus componentes”. Reconoce, además, la importancia de la DB para la evolución y mantenimiento de los sistemas necesarios para la vida en la biosfera y destaca, especialmente, la preocupación por su considerable reducción como consecuencia de determinadas actividades humanas.

A pesar de la importancia que la biodiversidad tiene para la agricultura, tanto como fuente de genes, como por la prestación de servicios ecológicos, la agricultura es, paradójicamente, una de las actividades humanas que mayor impacto negativo tiene sobre la diversidad biológica.

A pesar de la importancia que la biodiversidad tiene para la agricultura, tanto como fuente de genes, como por la prestación de servicios ecológicos, la agricultura es, paradójicamente, una de las actividades humanas que mayor impacto negativo tiene sobre la diversidad biológica.

Los sistemas agrícolas, representan entre un 50 a un 70% de los ecosistemas terrestres en la mayoría de los países. La agricultura consiste en modificar los ecosistemas para lograr la producción de pocas o de una especie “económicamente rentable”. Cualquier tipo de agricultura implica una simplificación del sistema y una reducción importante de la biodiversidad. Pero la agricultura moderna se caracteriza por su gran uniformidad a nivel genético y específico (híbridos simples de maíz, clones de papa), a nivel parcela (toda la parcela sembrada con la misma especie, sin presencia de vegetación espontánea: malezas), a nivel finca (grandes superficies con unos pocos cultivos) y a nivel región (zonas productoras de determinados cultivos), lo que se traduce también en la uniformidad del paisaje (Sarandón, 2002).

Además, “el uso inapropiado y la excesiva dependencia en agroquímicos han producido un substancial efecto negativo sobre ecosistemas terrestres, incluidos organismos del suelo, costeros y acuáticos, perjudicando, por lo tanto,

la diversidad biológica de diferentes ecosistemas” (UNEP, 1997). La interrelación entre agroecosistemas y ecosistemas naturales es, por lo tanto, estrecha y evidente. La idea que puede “salvarse al planeta con plaguicidas y plásticos” (Avery, 1998), se estrella con las leyes naturales de la ecología que no reconocen estas fronteras artificiales entre ecosistemas naturales y domesticados.

Aun existe en las ciencias agropecuarias una visión limitada sobre lo que es la biodiversidad y su rol en los agroecosistemas. Durante mucho tiempo, los agrónomos han visto y valorado a la biodiversidad principalmente, o casi exclusivamente, como fuente de genes; como un valioso recurso al cual acudir para “diseñar” o “reparar” cultivos de alto potencial de rendimiento, que, (paradójicamente, debido a su monocultivo) se vuelven ecológicamente susceptibles. Hoy se comprende que la biodiversidad es un importante recurso capaz de brindar una serie de servicios ecológicos imprescindibles para el buen funcionamiento de los agroecosistemas (Sarandón, 2009).

La pérdida de variabilidad genética de los principales cultivos es otro de los graves problemas a afrontar. La agricultura de por sí implica una reducción en la biodiversidad natural de los ecosistemas para reemplazarla por una población artificial de uno o pocos cultivos en grandes áreas. Pero la agricultura actual ha reducido esta diversidad al máximo. De las cerca de 80.000 plantas comestibles que se considera que existen, sólo se usan unas 200, y únicamente 12 son alimentos básicos importantes de la humanidad (FNUAP, 1991). Esto se ve claramente cuando se analizan las producciones anuales mundiales de los principales cultivos (Figura 1.3). La producción de los 3 cultivos más importantes (arroz, trigo y maíz), de los 19 que aparecen en esta figura, supera la suma de todos los demás y representa aproximadamente un 60 % de la producción mundial total.

Esta baja diversidad se ve agravada por el hecho de que en general, se utilizan sólo unas pocas variedades (las más "exitosas") de estos cultivos en amplias superficies, aumentando la fragilidad del sistema y el riesgo de que el ataque de una plaga o patógeno pueda provocar efectos devastadores en la producción de alimentos. Un ejemplo de ello es el cultivo de soja en Argentina.

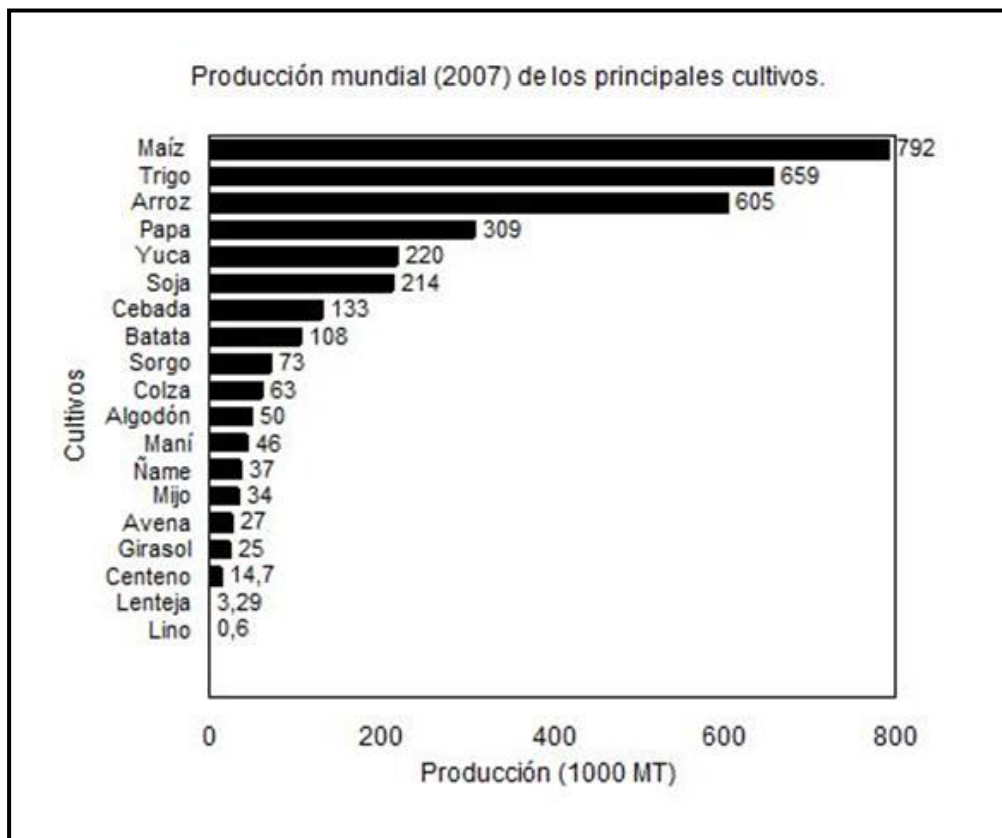


Figura 1.3: Producción mundial anual de los principales cultivos. Fuente: FAOSTAT (2009)

Como un ejemplo del peligro de la uniformidad genética sobre la fragilidad de los agroecosistemas, basta recordar los casos de los cultivos de papa en Irlanda en el siglo XIX (1845 y 1846) y de maíz en Estados Unidos en 1970 y 1971, donde grandes superficies cultivadas con unas pocas variedades muy susceptibles fueron destruidas por enfermedades.

La falta de variabilidad genética restringe a su vez las fuentes potenciales de resistencia a plagas, enfermedades y adaptación a condiciones desfavorables (sequías, salinidad, bajas temperaturas etc.).

La erosión cultural: el costo de la “soberbia” de algunos científicos

La agricultura industrial no solo ha generado impactos ecológicos; sino también un impacto cultural de inapreciables consecuencias: la destrucción de los saberes acumulados durante más de 10.000 años de interacción entre la

sociedad humana y la naturaleza. En efecto, la agricultura industrializada se ha expandido en gran parte del mundo “ignorando” y “despreciando” los conocimientos locales, los que fueron visualizados como atrasados, arcaicos, primitivos o inútiles. Este modelo no ha podido reconocer ni valorar la existencia de un saber local (entendido como la gama de conocimientos propios, de carácter empírico, transmitidos oralmente) entre los agricultores/as (Toledo, 2005).

El logro de una agricultura sustentable requiere un manejo ecológicamente adecuado de los recursos naturales presentes en los agroecosistemas, manejo muchas veces coincidente con las prácticas agrícolas utilizadas por estos productores/as (Altieri, 1991; Toledo, 1992; Gómez-Benito, 2001). Estas prácticas son producto de la coevolución de los agricultores/as con el medio. Esta coevolución los ha dotado de un conocimiento y valoración de los recursos naturales presentes en el agroecosistema y se ha traducido en el diseño y ejecución de estrategias de producción adecuadas con la conservación de los recursos. Esto ha sido comprobado en viticultores de la zona de Berisso (Abbona *et al.*, 2007), en horticultores familiares de la zona de La Plata, (Gargoloff *et al.*, 2007) y en productores/as familiares de la región de Misiones, Argentina (Nosedá *et al.*, 2011).

Sin embargo, el menosprecio y desconocimiento de las técnicas tradicionales de cultivo, y de sus bases ecológicas y culturales, provocó que, durante mucho tiempo, éstas fueran desplazadas y reemplazadas por una “tecnología moderna más eficiente”. Esto generó una gran erosión cultural que tiene enormes repercusiones en los intentos de conservación de germoplasma in situ. Vandana Shiva (1991) señala enfáticamente que la introducción de las variedades “milagrosas” de la Revolución Verde en la India, provocó la disminución de la superficie sembrada con numerosas variedades tradicionales que se fueron perdiendo al reemplazarse por pocas variedades modernas (Figura 1.4). Muchas variedades y ecotipos de plantas de cultivo han desaparecido para siempre de la faz de la tierra.

En la actualidad, algunos científicos han reconocido el error y están revalorizando la cultura de los agricultores/as tradicionales y sus métodos de cultivo, ya que ellos pueden conservar el germoplasma *in situ* en coevolución con los cambios del ambiente, lo que no puede hacerse con la conservación *ex situ* en los grandes centros internacionales o bancos de germoplasma. Asimismo, se reconoce que el mantenimiento de la diversidad cultural es imprescindible para el mantenimiento de la diversidad biológica, ya que no puede cultivarse lo que no se conoce (ver Capítulo 5).

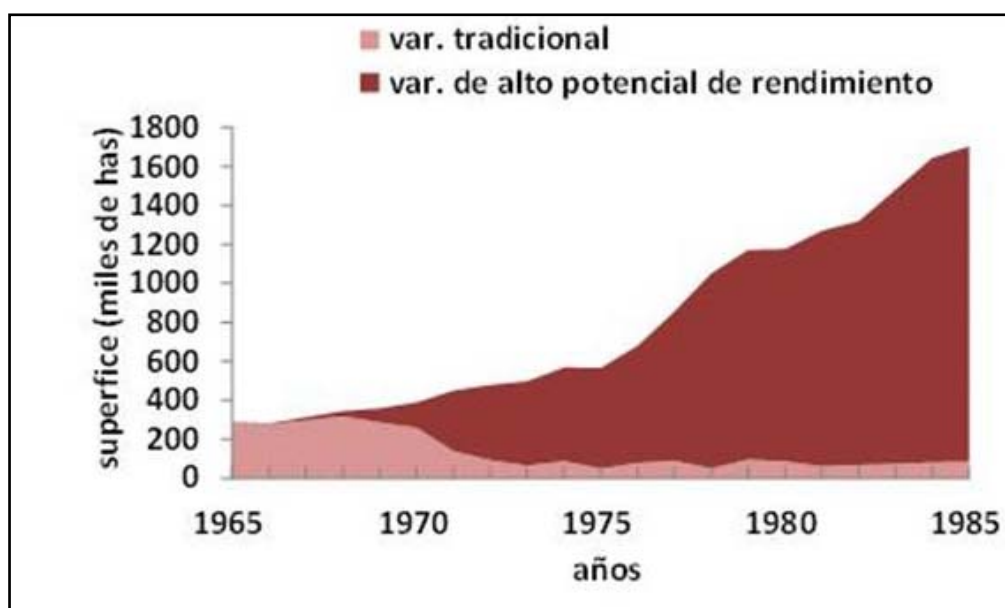


Figura 1.4: Impacto de la Revolución Verde en la India: difusión de nuevas variedades de arroz y desplazamiento de las tradicionales. Confeccionado a partir de datos de Shiva (1991)

Exclusión de los agricultores/as más pobres

Más allá de los graves problemas ambientales y sociales detallados previamente, la aplicación del modelo de la Revolución Verde ha provocado la exclusión de un gran número de agricultores/as de los países en vías de desarrollo, ya que para adecuarse al modelo, era necesario disponer de un capital importante para adquirir la maquinaria agrícola y comprar los fertilizantes y pesticidas. Así, los productores/as más pobres de los países de África, Asia y América quedaron relegados de esta nueva agricultura. Con el

paso de los años, este modo agrícola industrial llevó a una disminución en el número de establecimientos agropecuarios no sólo por la disminución de “pequeños productores” sino por la concentración de las tierras productivas en las manos de los “grandes”.

Estos errores empiezan a ser reconocidos. En la Argentina, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (2005) admite que “la pequeña agricultura familiar es parte de un sector social relevante en Argentina dado su gravitante rol en la seguridad alimentaria, en la absorción de mano de obra en la actividad agrícola y en la retención de la migración campo-ciudad”. Por su parte, la FAO admitió que, a pesar de que se habían invertido muchos recursos en las últimas décadas para lograr la modernización del sector agropecuario en Latinoamérica, “los resultados de estos esfuerzos fueron modestos, por no decir decepcionantes” (IICA, 1999). Además, reconoció que “se cometió el gravísimo error de no priorizar la generación de tecnologías de bajo costo que fuesen adecuadas para las circunstancias de escasez de capital y adversidad físico-productiva que caracteriza a la gran mayoría de los productores agropecuarios.” (IICA, 1999). Y que el sistema de subsidios y créditos (para que los productores accedieran a la moderna tecnología), con demasiada frecuencia benefició más al sector financiero y a los fabricantes de insumos y equipos, que a los propios agricultores/as.

El INTA (2005) ha reconocido que “el gran desarrollo tecnológico producido en las últimas décadas ha estado centrado principalmente en tecnología de insumos y capital intensiva, lo que desplazó al sector de pequeños productores”. Asimismo, ha señalado que “la tecnología generada no siempre ha satisfecho la demanda del sector de la agricultura familiar”. Cabe aclarar, que el sector de agricultores/as familiares es el más numeroso en la Argentina representando cerca del 70 % de los agricultores/as, variando entre 66 % (Obschatko, 2007) y 87 % (FAO, 2012).

Conclusiones

De lo expuesto hasta aquí, surge que el manejo actual de los agroecosistemas pone en peligro tanto la calidad del ambiente como la capacidad productiva del mismo.

Debido a que el manejo de los sistemas agropecuarios altamente tecnificados se basa en: la utilización en forma ineficiente de energía proveniente principalmente de fuentes no renovables (combustibles fósiles), prácticas de uso intensivo del suelo (con deterioro de sus propiedades productivas), agotamiento de un recurso vital como el agua, la aplicación creciente de plaguicidas peligrosos y cada vez menos eficientes y el uso de un número limitado de variedades mejoradas de cultivos (cuya base genética está agotándose), esta agricultura no puede considerarse sustentable por mucho tiempo.

Debemos pues, cambiar este estilo de agricultura si queremos pensar en las generaciones futuras. Como señala Bright (2000), debemos tratar de anticiparnos a la “sorpresa” ambiental porque la naturaleza no tiene un botón de “reset” para apretar y comenzar de nuevo. Las causas y probables soluciones las analizaremos en el siguiente Capítulo.

Preguntas para el repaso y la reflexión

1. *¿Qué fue el movimiento llamado Revolución Verde y cuál fue su influencia en el modelo de agricultura actual? ¿Cuál cree usted que ha sido la influencia de la llamada Revolución Verde en las Ciencias Agrarias? Dé un ejemplo.*
2. *Identifique cuáles de los problemas asociados a la agricultura actual, descritos en este Capítulo, afectan la capacidad productiva del agroecosistema y cuáles de ellos tienen impacto sobre el sistema global.*
3. *Basándose en el análisis de este documento, identifique y describa los principales problemas de la actividad agropecuaria que caracteriza a su región. Agrupe los mismos según sean de tipo ecológico, social o económico ¿Considera que esto pone en riesgo la sustentabilidad de la zona? ¿Por qué?*
4. *Seleccione uno de los problemas descritos en la pregunta anterior e identifique por lo menos 3 factores causantes y 3 efectos de dicho problema asociándolos a cada dimensión (ecológica, social y económica) ¿Encuentra alguna interrelación entre causas y efectos de diferentes dimensiones? Describa brevemente.*

5. *¿Cuál es el significado de la expresión “poner el ambiente al servicio del cultivar” que se atribuye al enfoque de la Revolución Verde? ¿Cómo se relaciona esta idea con los problemas asociados a la agricultura actual?*
6. *¿Cuál ha sido el impacto del modelo de agricultura sobre el acceso a la tecnología por parte de los productores/as?*

Bibliografía citada

- Abbona EA, SJ Sarandón, ME Marasas & M Astier (2007) Ecological sustainability evaluation of traditional management in different vineyard systems in Berisso, Argentina. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 119 (3- 4): 335-345.
- ABRASCO (2012) Associação Brasileira de Saúde Coletiva Dossiê ABRASCO – Um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde. Parte 1 - Agrotóxicos, Segurança Alimentar e Nutricional e Saúde. Carneiro FF, W Pignati, RM Rigotto, LGS Augusto, A Rizzolo, NMX Faria. VP Alexandre, K Friedrich, MSC Mello. Rio de Janeiro. 88pp.
- Altieri MA (1991) ¿Por qué estudiar la agricultura tradicional? En *Agroecología y Desarrollo*. CLADES 1:25pp.
- Andriulo A (1999) Modelling soil carbon dynamics with various cropping sequences on the rolling pampas. http://www.agronomyjournal.org/index.php?option=article&access=standard&Itemid=129&url=/articles/agro/pdf/1999/05/Agronomie_02495627_1999_19_5_ART0004.pdf. Último acceso: noviembre de 2013.
- ANVISA (2011) Programa de Análise de Resíduo de Agrotóxico em Alimentos (PARA), dados da coleta e análise de alimentos de 2010. Brasília:. Disponível em: www.anvisa.gov.br. Acesso em: 21/12/2011.
- Avery D (1998) Salvando al planeta con plaguicidas y plásticos. El triunfo ambiental de la agricultura de altos rendimientos. Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes, Buenos Aires, 318 pp.
- Bright (2000) Anticipating environmental “surprise”. In: *State of the World 2000*. Worldwatch Institute Report on Progress Toward a Sustainable Society. WW Norton & Company, New York, London. 2:22-38.
- Carson R (1964) *The silent spring*. New York, Fawcett. 304 pp.
- CASAFE (2011) Guía de Productos Fitosanitarios. 15° Edición. Cámara de Sanidad Agropecuaria y fertilizantes. 2000 pp.
- Casas R (2006) Preservar la calidad y salud de los suelos una oportunidad para la Argentina. En: http://www.anav.org.ar/trabajos_publicados/5/casas.pdf. Último acceso: marzo de 2013.
- Catoggio JA (1991) Contaminación del agua. Causas de la contaminación de aguas superficiales y subterráneas. Precipitaciones ácidas. Eutroficación; polución costera. Latinoamérica Medio Ambiente y Desarrollo. Programa de Medio Ambiente. Seminario Latinoamericano sobre Medio Ambiente y Desarrollo. San Carlos de Bariloche, Provincia de Río Negro, Argentina. Octubre de 1990: 137-155.
- CEPAL (1999) Tendencias actuales de la gestión del agua en América Latina y el Caribe. Documento LC/L.1180. República dominicana. 98 pp.
- Darwich N (1991) Recursos Naturales. Pampa Húmeda Sur. INTA, Seminario Juicio a nuestra agricultura. Hacia un desarrollo sostenible. Ed. Hemisferio Sur, Buenos Aires.: 51-63.

- Darwich N (2003) El balance económico en las rotaciones agrícolas. INTA Proyecto fertilizar. Disponible en www.fertilizar.org
- Dazhong W & D Pimentel (1990) Energy flow in Agroecosystems of Northeast China. In SR Gliessman (Ed.) *Agroecology: Researching the ecological basis for sustainable agriculture*. Springer-Verlag: 322-336.
- Díaz Zorita M, F García & R Melgar (coord.) (2002) Fertilización en soja y trigo-soja: Respuesta a la fertilización en la región pampeana. Boletín Proyecto Fertilizar. EEA INTA Pergamino. 44 pp.
- FAO (2008) FAO sala de prensa: Aumenta la degradación del suelo. Un cuarto de la población mundial está afectada, según un nuevo estudio. <http://www.fao.org/newsroom/news/2008/1000874>. Último acceso: febrero 2011.
- FAO (2012) Boletín de Agricultura Familiar de América Latina Y el Caribe, Observatorio de la Agricultura Familiar, La agricultura familiar en Argentina 4-7. Octubre – Diciembre 2012.
- FAOSTAT (2009) <http://faostat.fao.org/>. Último acceso 1/9/2009.
- Flores CC & SJ Sarandón (2003) ¿Racionalidad económica versus sustentabilidad ecológica? El análisis económico convencional y el costo oculto de la pérdida de fertilidad del suelo durante el proceso de Agriculturización en la Región Pampeana Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*: 105 (1): 52-67.
- Flores CC, SJ Sarandón & MJ Iernanó (2004) Eficiencia energética en sistemas hortícolas familiares del partido de La Plata, Buenos Aires, Argentina. *Anales (CD-ROM) II Congreso Brasileiro de Agroecología, V Seminário Internacional sobre Agroecología, VI Seminário Estadual sobre Agroecología, Porto Alegre, 22 al 25 de Noviembre de 2004, Porto Alegre, Brasil*. 278 MAP. 4pp.
- Florida Department of Agriculture (1987) Residue Testing Laboratory. Data compiled from the 1986-87 growing season, Florida Dept of Agriculture, Tallahassee. Available from Environmental Health Research, Vero Beach, Fla. In: National Research Council (1989) *Problems in US. Agriculture*. In: *Alternative Agriculture*. Committee on the role of alternative farming methods in modern production agriculture. National Academy Press, Washington, DC 448 pp.
- Fontanetto H & O Keller (2003) Consumo y manejo de nutrientes de las rotaciones de cultivos. 11^{avo} Congreso de AAPRESID. Rosario. Agosto 2003.
- FNUAP (1991) Fondo de Población de las Naciones Unidas. La población y el medio ambiente: los problemas que se avecinan. 44 pp..
- Gaud W (1968) The Green Revolution: Accomplishments and Apprehensions. Transcripción del speech de William Gaud del 8 de marzo de 1968 in the Society for International Development. Disponible en: <http://www.agbioworld.org/biotech-info/topics/borlaug/borlaug-green.html>. Último acceso: enero de 2013.
- García F & MF González Sanjuan (2010) Balances de nutrientes en Argentina. ¿Cómo estamos? ¿Cómo mejoramos? En: <http://fertilizando.com/articulos/Balancedenutrientes2010.pdf> Último acceso: febrero 2011.
- Gargoloff NA, P Riat, EA Abbona & SJ Sarandón (2007) Análisis de la Racionalidad Ecológica en 3 grupos de horticultores en La Plata, Argentina. *Revista Brasileira de Agroecología* 2(2): 468-471.
- GLASOD (Global Assessment of Human-induced Soil Degradation) (1990). ISRID: World soil information <http://www.isric.org/UK/About%2BISRIC/Projects/Track%2BRecord/GLASOD.htm>
- Gliessman S (2001) *Agroecologia. Processos ecológicos em agricultura sustentável*. Segunda Edição. Rio Grande do Sul: Editora da Universidade. 18: 509-538.

- Gómez-Benito C (2001) Conocimiento local, Diversidad Biológica y Desarrollo. En Agroecología y Desarrollo: Aproximación a los fundamentos agroecológicos para la gestión sustentable de agroecosistemas mediterráneos. Ediciones Mundi Prens. 2: 49- 64.
- Grönross J (2006) Energy use in conventional and organic milk and rye bread production in Finland. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 117:109-118.
- Iermanó MJ & SJ Sarandón (2009a) ¿Es sustentable la producción de agrocombustibles a gran escala? El caso del biodiesel en Argentina. *Revista Brasileira de Agroecología*. Brasil. 4 (1): 4-17.
- Iermanó MJ & SJ Sarandón (2009b) Análisis de la demanda de energía en 3 cultivos oleaginosos de clima templado, según distintos procesos ecológicos. *Revista Brasileira de Agroecologia* 4(2): 1738-1741.
- Iermanó MJ & SJ Sarandón (2010) Cultivo de soja para la producción de agrocombustibles (biodiesel) en la pampa húmeda: energía invertida en la regulación biótica. -Trabajo en Congreso-. XVIII Jornadas de Jóvenes Investigadores de la AUGM (Asociación de Universidades Grupo Montevideo), Ciudad de Santa Fe, Publicación en actas: Libro de resúmenes y trabajo completo en CD.
- INTA (2005) Programa Nacional de Investigación y Desarrollo tecnológico para la pequeña agricultura familiar. Documento Base. Abril de 2005.
- Limongelli JC, MC Rondinone & J Fernández Lozano (1991) Contaminación. Impacto de la contaminación en la calidad de los productos vegetales. INTA, Seminario Juicio a nuestra agricultura. Hacia un desarrollo sostenible. Ed. Hemisferio Sur, Buenos Aires: 183-196.
- Luck RF, R van den Bosch & R García (1977) Chemical insect control, a troubled pest-management strategy. *Bioscience*, 27:606-611.
- Martellotto E, H Salas H & E Lovera (2001) Sustentabilidad de los sistemas agrícolas en la Pcia. de Córdoba: Factores que la condicionan. *Boletín INTA Manfredi*.
- Martínez F & G Cordone (2000) Avances en el manejo de azufre: Novedades en respuesta y diagnóstico en trigo, soja y maíz. In Jornada de Actualización Técnica para Profesionales "Fertilidad 2000". INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Martínez Vidal JL, MJ González-Rodríguez, A Belmonte Vega & A Garrido Frenich (2004) Estudio de la contaminación por pesticidas en aguas ambientales de la provincia de Almería. *Ecosistemas* 13 (3): 30-38. En: <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=37> . Ultimo acceso febrero de 2011.
- Mc Ginn AP (2000a) Why Poison Ourselves? A Precautionary Approach to Synthetic Chemicals. Chris Bright, Editor, *Worldwatch Paper* 153,: 92 pp.
- Mc Ginn AP (2000b) Phasing out persistent organic pollutants. In: *State of the World 2000*. Wordlwatch Institute Report on Progress Toward a Sustainable Society. WW Norton & Company, New York-London: 80-100.
- Newbould P (1989) The use of nitrogen fertilizer in agriculture. Where do we go practically and ecologically? *Ecology of arable land* (Eds M Clarholm & L Bergstöm), Kluwer Academic Publishers.pp. 281-295.
- Noseda C, SJ Sarandón, D Magda, N Girard, G González & R Gorriti (2011) Lógica y saberes campesinos en dos localidades ubicadas en la zona Norte del Alto Paraná, Misiones, Argentina: aportes para la producción agroecológica. *Cadernos de Agroecologia* 6 (2): 5pp.
- NRC (National Research Council) (1989) Problems in US. Agriculture. In *Alternative Agriculture*. Committee on the role of alternative farming methods in modern production agriculture. National Academy Press, Washington, DC 448 pp.
- Obschatko, Edith Scheinkerman de (2007) Los pequeños productores en la República Argentina: importancia en la producción agropecuaria y en el empleo en base al censo nacional agropecuario 2002: 2da.Edición revisada y ampliada / Edith Scheinkerman de

- Obschatko; María del Pilar Foti; Marcela E. Román. - 2a ed. - Buenos Aires: Secretaría Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. Dirección de Desarrollo Agropecuario: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura- Argentina, 2007.127 p. + 1 CD ROM; 30x21 cm. (Estudios e investigaciones; 10)
- Ozkan B, A Kurklu & H Akcaoz (2003) An input-output energy analysis in greenhouse vegetable production: a case study for Antalya region of Turkey. *Biomass & Bioenergy* 98: 89-95.
- Parsehian S & C Grandi (2003) Contaminantes Organoclorados en Leche Humana 33 Congreso Argentino de Pediatría. Libro de resúmenes RP 136, Mar del Plata, Pimentel D, W Dazhong & M Giampietro (1990) Technological changes in energy use in US Agricultural Production. In: SR Gliessman (Ed.) *Agroecology: Researching the ecological basis for sustainable agriculture*. Springer Verlag: 305-322.
- PNUMA (1990) Reseña del PNUMA. Programa de las Naciones Unidas Para el Medio Ambiente. Nairobi, Kenia. 48 pp.
- Postel S (2000) Redesigning irrigated agriculture. In: *State of the World 2000*. Worldwatch Institute Report on Progress Toward a Sustainable Society. WW Norton & Company, New York-London 3:39-58.
- Prado G, G Díaz, S Vega y Leon, M Gonzalez, N Perez, G Urban, R Gutiérrez, A Ramírez & M Pinto (1998) Residuos de plaguicidas organoclorados en leche pasteurizada comercializada en ciudad de México. *Arch. Med. Vet.* 30 (1) Valdivia 17 pp.
- Salvagiotti F (2013) <http://inta.gob.ar/documentos/respuesta-a-la-fertilizacion-con-boro-en-soja-en-el-sur-de-santa-fe/>
- Sarandón SJ & R Sarandón (1993) Un enfoque ecológico para una agricultura sustentable En: Goin F y C Goñi (Eds.) *Bases para una política ambiental de la R. Argentina*, Sección III, 19:279-286, HC Diputados de la Pcia. de Buenos Aires.
- Sarandón SJ (2002) La agricultura como actividad transformadora del ambiente. El Impacto de la Agricultura intensiva de la Revolución Verde. En "AGROECOLOGIA: El camino hacia una agricultura sustentable", SJ Sarandón (Editor), Ediciones Científicas Americanas, La Plata.1: 23-48.
- Sarandón SJ (2009) Biodiversidad, agrobiodiversidad y agricultura sustentable: Análisis del Convenio sobre Diversidad Biológica. En *Vertientes del pensamiento agroecológico: fundamentos y aplicaciones*, Sociedad Científica Latinoamérica de Agroecología. SOCLA 2009, Editor/Compilador: MA Altieri, Publicado por: Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA), Medellín, Colombia. www.agroeco.org/socla, 4: 95-116.
- Senigagliesi C (1991) Recursos Naturales. Pampa Húmeda Norte. INTA, Seminario Juicio a nuestra agricultura. Hacia un desarrollo sostenible. Ed. Hemisferio Sur, Buenos Aires: 29-51.
- Shiva V (1991) "Miracle seeds" and the destruction of genetic diversity. In: *The violence of the green revolution. Third World Agriculture, Ecology and Politics*. Third World Network, Pennang, Malaysia: 61-102.
- Sweezy S & D Faber (1990) La acumulación desarticulada, las exportaciones agrarias y las crisis ecológicas en Nicaragua: el ejemplo del algodón. *Ecología Política* 1:19-31.
- Toledo VM (1992) La racionalidad ecológica de la producción campesina. En: *Ecología, campesinado e historia*. Sevilla Guzmán, E. y Gonzáles de Molina, M. (Editores). Ed. La Piqueta. Madrid. España. 5:197-218.
- Toledo VM (2005) La memoria tradicional: la importancia agroecológica de los saberes locales. *LEISA*. 20 (4).
- UNEP/CBD (1994) Convention on Biological Diversity. Text and Annexes. The Interim Secretariat For the Convenion on Biological Diversity, Geneva, Switzerland: 34 pp.

- UNEP (1997) The Biodiversity Agenda. Decisions from the third Meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity. Second Edition, Buenos Aires, Argentina, 4-15 Nov, 1996. 116 pp.
- USDA (1987) Agricultural Resources-Cropland, water and conservation-Situation and outlook report. AR-8. Economic Research Service. Washington D.C.
- Zazo F, CC Flores & SJ Sarandón (2011) El costo oculto del deterioro del suelo durante el proceso de sojización en el Partido de Arrecifes, Argentina. Revista Brasileira de Agroecología. 6 (3).
- Zubillaga MM & MS Zubillaga (2008) ¡Qué caro... cosechar nutrientes! Encrucijadas 46. Disponible en: <http://www.uba.ar/encrucijadas/46/sumario/enc46-quecaro.php>. Último acceso: enero de 2014.

CAPÍTULO 2

LA AGROECOLOGÍA: EL ENFOQUE NECESARIO PARA UNA AGRICULTURA SUSTENTABLE

Santiago J. Sarandón y Claudia C. Flores

Introducción

Como hemos visto en el Capítulo 1, el modelo de agricultura moderno ha logrado incrementar los rendimientos por unidad de superficie de los principales cultivos, pero presenta una serie de problemas ambientales, socioculturales y económicos de gran magnitud. Estos pueden sintetizarse en dos grandes cuestionamientos a solucionar:

- 1) Su insustentabilidad: derivada de los serios problemas ambientales.
- 2) Su aplicación o adecuación sólo para un pequeño número de agricultores.

Actualmente se reconoce que el paradigma de la Revolución Verde está agotado y superado desde hace tiempo y que no se tuvieron en cuenta las externalidades ambientales negativas generadas por el uso intensivo de fertilizantes y agroquímicos para controlar plagas y enfermedades (IICA, 2012). El problema más claro es el daño ambiental (IICA, 2012).

A fin de encontrar una propuesta superadora, es bueno preguntarse ¿Por qué ha ocurrido esto? ¿Por qué razón la investigación científica en las instituciones oficiales, entre otras, generó una tecnología que cuando es aplicada provoca tantos inconvenientes? ¿Es esto debido a una mala aplicación de una buena tecnología o existe una dificultad en el enfoque con que se pensó y generó (y se genera) esta tecnología? Estas preguntas requieren un profundo análisis.

El objetivo de este Capítulo es analizar las causas de la insustentabilidad del paradigma de la Revolución Verde, plantear la necesidad de un cambio en el modelo de desarrollo agropecuario vigente y discutir el aporte que la Agroecología, como paradigma emergente, puede hacer para el logro de un Desarrollo Rural Sustentable.

Las múltiples causas de la aparición de estos problemas

Aunque gran parte de los problemas asociados a la agricultura moderna, son admitidos actualmente por muchos científicos, técnicos y académicos, coexisten dos posturas o enfoques antagónicos acerca de las causas que los han originado. Por un lado, están quienes sostienen que estos problemas se deben sólo a algunos desajustes o errores en la aplicación de la tecnología. Consideran que el modelo vigente es adecuado (incluso que es el único posible), y que sólo se requieren algunos pequeños cambios para que los problemas ambientales, que se reconoce que existen y son importantes, se solucionen. Y que esta solución se alcanzará con la tecnología vigente o la que se habrá de descubrir en el futuro. En esta línea de pensamiento puede ubicarse a las propuestas de cultivos transgénicos (por ejemplo, eventos “apilados”, como la soja Bt RR2, de reciente aparición en la Argentina), siembra directa, agricultura de precisión, cultivos sin suelo o hidropónicos, entre otros, que aparecen como soluciones simples a problemas complejos. La tecnología, una vez más, promete “solucionar” los problemas que ella misma ha creado.

Por otra parte, una postura diferente, que ha ganando espacio en los últimos años, considera que, en realidad, los problemas no son consecuencia de una mala aplicación de una buena idea, sino del enfoque predominante en este modelo de agricultura bajo el cual se generó esa idea. Por lo tanto, es importante analizar las causas que los generaron para entender lo que ha pasado y encontrar una solución.

Algunas de las principales causas que han llevado a estos problemas y que constituyen un impedimento para el logro de un modelo agrícola sustentable se detallan a continuación (Tabla 2.1):

- La visión del medio ambiente como un objeto externo al ser humano, inagotable y destinado a su satisfacción.
- La visión cortoplacista y productivista con que se ha encarado la producción agrícola moderna. El rendimiento de pocos cultivos como sinónimo indiscutido de “éxito”.
- El triunfo de la filosofía de la Revolución Verde: el ambiente al servicio del genotipo o cultivar (potencial de rendimiento).
- La visión atomista y/o reduccionista del mundo y del método de adquirir los conocimientos. La suma de las partes es lo mismo que el todo.
- La confianza ilimitada en la tecnología (optimismo irracional). Poca capacidad para percibir el agotamiento o degradación de los recursos productivos.
- El insuficiente conocimiento sobre el funcionamiento de los agroecosistemas. Se prioriza el conocimiento de los componentes de un sistema, por sobre el de las interacciones entre ellos.
- La deficiente formación de los profesionales y técnicos de las Ciencias Agrarias en conceptos de la agricultura sustentable y el manejo de agroecosistemas.
- La dificultad para percibir el impacto ambiental de ciertas prácticas agrícolas sobre el ambiente. Falta de visión sistémica.
- La Ética: un valor “difuso” en la formación de los profesionales y técnicos.
- La falta de percepción de la necesidad de incorporar el costo ambiental en la evaluación del éxito económico de las actividades agropecuarias. La falsa ilusión de riqueza: destrucción del capital, “socialización” del costo y “privatización” de la ganancia.
- El incipiente desarrollo de metodologías adecuadas para evaluar la sustentabilidad de las prácticas agrícolas ¿Cómo se mide la sustentabilidad?
- El mercado como mecanismo poco adecuado para valorar los bienes ambientales. “El precio no es sinónimo de valor”.

Tabla 2.1: Causas e impedimentos para el logro de una agricultura sustentable (Sarandón 2002a, modificado)

A pesar de que todos los aspectos enumerados contribuyen a explicar la insustentabilidad de este modelo de agricultura, analizaremos algunos que han

caracterizado este enfoque antropocéntrico, reduccionista, productivista y cortoplacista con que se ha encarado la producción agrícola hasta ahora.

La visión de la naturaleza “inagotable”

El primero, y tal vez el más importante por su trascendencia, fue la construcción de la relación del ser humano con la naturaleza. De aquí surge lo que Sevilla Guzmán (Guzmán Casado *et al.*, 2000) ha denominado gráficamente como el “pecado original de la Ilustración”. La Ilustración fue un movimiento cultural nacido en Europa (durante el cual se establecieron los cimientos del pensamiento científico) que pretendió disipar las tinieblas de la humanidad mediante las “luces” de la razón. Según esta postura, el ser humano se sitúa por fuera y por encima de la naturaleza, con el afán de dominarla y ponerla a su servicio. Y considera a los recursos naturales como una fuente inagotable de bienes y servicios.

Esta idea, corresponde a una visión antropocéntrica extrema, que sólo considera a la naturaleza como proveedora de recursos (en forma inagotable) que existen para satisfacción del ser humano. No reconoce al ser humano como un componente más de la misma, con la que debe convivir, ni el derecho de otras especies a su propia subsistencia.

Aunque esta visión extrema de la naturaleza como inagotable está demostrando ser una falacia, aun influye decididamente sobre muchos científicos y políticos que no quieren (o no pueden) ver claramente el deterioro constante de los recursos naturales.

El enfoque reduccionista - atomista

El otro hecho se debe a la influencia de **René Descartes**, cuando, en su ya famoso *Discurso del Método* (1637) sentó las bases del racionalismo científico moderno según el cual, para comprender y conocer un problema complejo, hay que reducirlo a sus partes más simples. Del análisis individual de

cada una de las partes, podrá llegarse luego a la comprensión del todo. Bajo esta idea, la sumatoria de conocimientos de la realidad parcializada permite encontrar soluciones a problemas complejos, como podrían ser los agropecuarios. Casi 400 años después, éste sigue siendo el enfoque vigente en casi todos los agrónomos y científicos (Sarandón *et al.*, 2001). De hecho, la estructura educativa de las universidades responde a este concepto: el conocimiento fraccionado como una sumatoria de muchas pequeñas parcelas de conocimiento (las cátedras o cursos) cuya agregación, a lo largo de los años de permanencia en la Institución, permite generar o formar el profesional buscado.

Si bien este método de obtener el conocimiento ha permitido a la ciencia avanzar enormemente, a veces resulta inadecuado desde una óptica integral, para la resolución de problemas más complejos como el manejo de los agroecosistemas. Las investigaciones basadas en una sola disciplina tienen una limitación inherente cuando se usan para resolver problemas más complejos. Como señala Enrique Leff (1994), se requiere un cambio de un pensamiento simplista, reduccionista y mecanicista, a un pensamiento de la complejidad, para enfrentar el desafío ambiental.

La filosofía de la Revolución Verde

La Revolución Verde logró cultivos muy productivos por unidad de superficie, pero altamente dependientes de insumos que, en muchos casos, los países en "vías de desarrollo" no producían y debían importar. Por otra parte, desde un punto de vista ecológico, el cambio en las características de los genotipos que ahora prevalecían en los agroecosistemas trajo aparejados otros problemas. Su principal impulsor, el Dr. Norman Borlaug reconocía ya en 1969 estas dificultades al analizar los resultados de la aplicación del programa en México (Borlaug, 1969). Allí admite que "las malezas que no representan un problema en suelos con baja fertilidad, se vuelven agresivas cuando se aplica fertilizante" y que "en México no se conocían problemas de insectos en el trigo cuando el programa se inició". El uso de fertilizantes modificó el microclima de

los cultivos de manera tal que se hizo más favorable para el desarrollo de enfermedades y plagas. El áfido *Macrosiphum granarium*, que nunca había sido plaga de importancia económica, llegó a causar serias pérdidas.

¿Por qué, entonces, a pesar de estos inconvenientes, “triunfó” la Revolución Verde? En realidad, no es una pregunta sencilla de contestar. Vandana Shiva, una conocida militante y activista India, en su libro *“The Violence of the Green Revolution”* -La violencia de la Revolución Verde- (1991) analiza este aspecto y se pregunta si realmente las “semillas milagrosas” de la Revolución Verde fueron intrínsecamente superiores y más avanzadas que la diversidad de cultivos locales y variedades que ellas desplazaron (ver Capítulo 1). La autora considera que, en realidad, se hicieron, comparaciones inequitativas y erróneas. En este sentido, el término variedades de alto rendimiento, que constituye un aspecto central del paradigma de la Revolución Verde, corresponde a una categoría reduccionista que usa, como vara de medición, el rendimiento de una parte de uno o unos pocos cultivos (la parte económica: grano), cuando la comparación correcta debería hacerse al nivel de sistemas. Es decir: ¿Cuál sistema, como un todo, es más productivo? De alguna manera, el redescubrimiento y difusión actual de los sistemas de policultivos o cultivos consociados, retoma esta idea de una visión más global. En las agriculturas desplazadas, los sistemas de cultivos incluían una relación simbiótica entre suelo, agua, animales y plantas. La Revolución Verde reemplazó esto con insumos como semillas y fertilizantes.

Este esquema reduccionista de la producción (y esta forma de pensar) tuvo un gran éxito y predominó (y aún predomina) en las instituciones de investigación y educación agrícola durante las últimas décadas.

El esquema de generación-transferencia de tecnología

Durante mucho tiempo, predominó, en el área agropecuaria, un esquema de investigación y transferencia de tecnología difusionista, según el cual, existía una clara separación de objetivos y responsabilidades entre quienes

tenían que "crear" la tecnología (los investigadores) y quienes debían transferirla (los extensionistas). La investigación era desarrollada por los investigadores científicos, en las grandes estaciones experimentales o Universidades, generalmente ubicadas sobre buenos suelos, donde podían controlarse un gran número de variables en parcelas experimentales. Cuando se descubría algún conocimiento importante o se desarrollaba alguna tecnología considerada buena, el extensionista debía encargarse de transferirla al productor agropecuario para que éste la "adopte". Las fallas en la difusión o efectiva adopción de esta tecnología eran atribuidas, muchas veces, al "atraso" de los agricultores, "incapaces" de comprender los supuestos beneficios de la nueva tecnología ofrecida. Si no tenían los conocimientos, se les debían dar a través de la capacitación; si no tenían recursos, se les daban créditos para que los adquirieran. Pero no se discutía la utilidad de la tecnología, que se consideraba buena *"per se"* (Sarandón & Hang, 2002).

Este enfoque, aún en vigencia y que ha caracterizado el perfil de las investigaciones agropecuarias tanto en las Universidades como en los Institutos Nacionales de Investigación Agropecuaria (INIAs) de muchos países, ha sido y está siendo duramente cuestionado en distintos niveles. En algunos países, los sistemas de extensión se han reestructurado totalmente a partir del estrepitoso fracaso del sistema clásico en mejorar las condiciones de los agricultores. La FAO señaló que, a pesar de que se habían invertido muchos recursos en las últimas décadas para lograr la modernización del sector agropecuario en Latinoamérica, "los resultados de estos esfuerzos fueron modestos, por no decir decepcionantes" (IICA, 1999). Además, reconoció que "se cometió el **gravísimo error** de no priorizar la generación de tecnologías de bajo costo que fuesen adecuadas para las circunstancias de escasez de capital y adversidad físico-productiva que caracteriza a la gran mayoría de los productores agropecuarios" (IICA, 1999). Y la misma idea ha sido reconocida por el INTA (2005) para la Argentina. Por otra parte, el IICA admitió también que el sistema de subsidios y créditos, desarrollado para que los productores pudieran acceder a la moderna tecnología producto de la aplicación de enfoque de la Revolución Verde, con demasiada frecuencia ayudó o benefició más al

sector financiero y a los fabricantes de insumos y equipos que a los propios agricultores.

Hoy se reconoce que los avances tecnológicos de la Revolución Verde o la tecnología convencional, no han constituido una respuesta eficiente a la heterogeneidad característica del sector rural, principalmente en Latinoamérica, ya que "sus recetas" no resultan siempre apropiadas para comunidades que viven en tierras marginales o poco fértiles. Existe una conciencia creciente de que, en general, las tecnologías en uso sólo se han enfocado sobre los mejores sitios (áreas de llanura), con buena disponibilidad de agua, pocos impedimentos de suelo y sin restricciones de capital.

El Instituto Interamericano para la Agricultura (IICA), uno de los organismos promotores del enfoque de la Revolución Verde, admitió que el sistema de subsidios y créditos desarrollado para que los productores pudieran acceder a la moderna tecnología producto de la aplicación de este enfoque, con demasiada frecuencia ayudó o benefició más al sector financiero y a los fabricantes de insumos y equipos que a los propios agricultores.

Un ejemplo de esto es el mejoramiento genético de ciertos cultivares. Muchas veces la obtención de "buenos" cultivares en condiciones de estaciones experimentales, no aseguran que éstos funcionen bien en las condiciones de los campos de los agricultores, generalmente de menor calidad. Por el contrario, cultivares que a veces no demuestran un buen comportamiento en parcelas experimentales (y que, generalmente son descartados) podrían funcionar mejor que los "buenos cultivares" en los campos de los productores, produciéndose una interacción genotipo-ambiente importante, como señaló Cecarelli (1996) para el caso de la cebada. En la actualidad, existe una interesante discusión acerca de quién debe determinar las características que deben ser "mejoradas" en los diferentes materiales genéticos, comprendiéndose cada vez más la necesidad de un mejoramiento participativo.

Como síntesis, puede decirse que los graves impactos ambientales y sociales de la agricultura moderna no son una consecuencia inevitable de la

actividad agrícola en sí, sino de un estilo o forma de entender la agricultura. Por lo tanto, esto es lo que hay que cambiar.

Para dar solución a los impactos ambientales y sociales del modelo agrícola actual hay que cambiar la forma de entender la agricultura.

La Agricultura Sustentable: Un desafío complejo

No hay dudas que el mantenimiento de niveles adecuados de producción agrícola, junto con la conservación de los recursos naturales es hoy uno de los mayores desafíos que deberá enfrentar la humanidad en las próximas décadas. Esto concuerda con el avance del concepto de Desarrollo Sostenible el que analizaremos brevemente.

El concepto “oficial” y generalmente aceptado de Desarrollo Sustentable es el acuñado por la Comisión Brundtland como *“aquél que permite la satisfacción de las necesidades de esta generación sin comprometer la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras”* (CMMAD, 1988). Aunque esta definición ha sido aceptada ampliamente presenta algunos aspectos cuestionables (Tabla 2.2).

- Vaguedad en los términos.
- No define cuáles son, ni quién determina las necesidades de las generaciones actuales y futuras.
- Admite que es posible un desarrollo con crecimiento en un “mundo que está en sus límites”.
- Afirma que la pobreza genera deterioro del medio ambiente.
- Deposita excesiva confianza en la tecnología.

Tabla 2.2: Algunos problemas que plantea el concepto “oficial” del Desarrollo Sustentable, (CMMAD, 1987)

Uno de los aspectos más controvertidos de este informe es que no define cuáles son las necesidades, ni quiénes las deben determinar. Y esto se

agrava cuando se habla de las generaciones futuras que, por definición, aún no han nacido y, por lo tanto, no pueden manifestar sus necesidades. Por lo tanto, estas deben ser interpretadas por las generaciones actuales. Todo esto genera una serie de inconvenientes y discusiones que no abordaremos en este Capítulo pero que conviene señalar.

Otro punto polémico del informe es que considera que es posible seguir creciendo, en un mundo que, según algunos indicadores biofísicos como la huella ecológica (hectáreas necesarias por persona para vivir como vive) está en sus límites. Hoy la humanidad utiliza el equivalente de 1,4 planetas cada año (Ewing *et al.*, 2009). El informe considera que con el dinero se pueden solucionar los problemas ambientales y que, entonces, son los pobres los principales responsables del deterioro ambiental, porque los países ricos pueden invertir en tecnología más ecológica.

Finalmente, el informe deposita excesiva confianza en la tecnología en la idea que muchos de los problemas actuales se van a solucionar en el futuro lo que impide dimensionarlos correctamente.

Sin embargo, y a pesar de que esta definición es polémica y que ha sido duramente cuestionada por su concepción de desarrollo (Alonso Mielgo & Sevilla Guzmán, 1995), es interesante porque introduce un nuevo concepto: el de la solidaridad con las generaciones futuras, es decir, con aquellos que aún no han nacido.

De acuerdo con este compromiso, se requiere desarrollar una agricultura que sea económicamente viable, socialmente aceptable, suficientemente productiva, que conserve la base de recursos naturales y preserve la integridad del ambiente en el ámbito local, regional y global (Sarandón & Sarandón, 1993).

Debemos entonces construir y fomentar, en base a estas ideas, un nuevo concepto de agricultura: Una agricultura Sustentable.

“Una Agricultura Sustentable es aquella que mantiene en el tiempo un flujo de bienes y servicios que satisfagan las necesidades alimenticias, socioeconómicas y culturales de la población, dentro de los límites biofísicos que establece el correcto funcionamiento de los sistemas naturales (agroecosistemas) que lo soportan” (Sarandón et al., 2006).

Analicemos esta definición: lo primero que se destaca es el concepto de mantener un flujo de bienes y servicios. El sistema agropecuario, el agroecosistema (ver Capítulo 4) es un tipo de ecosistema que consta de un capital natural (recursos: suelo, biodiversidad, energía, agua) y un capital sociocultural que permiten la producción de bienes y servicios. Esta idea es atractiva y útil e implica reconocer, por un lado, que los agroecosistemas tienen una función integral: no sólo deben producir bienes (lo tangible): cultivos, animales, huevos, leche, fibras, sino también, y simultáneamente, deben brindar servicios (intangibles): hábitat para seres humanos y animales, funciones ecológicas (ciclado de nutrientes, regulación biótica, captura de carbono, control de la erosión, detoxificación del ambiente), mantenimiento del paisaje, conservación de la biodiversidad de plantas y animales, entre otros.

La obligación (ética) de mantener en el tiempo la producción es similar a la de colocar un capital en el Banco para que rinda un interés mensual o anual. Si mantenemos constante el capital, podremos extraer el interés y usarlo indefinidamente.

Es necesario incorporar la idea del uso múltiple del territorio; la multifuncionalidad de la agricultura. Los agroecosistemas no sólo deben producir, sirven para mucho más que eso. Esto implica un cambio importante en la concepción clásica sobre los agroecosistemas como áreas dedicadas casi exclusivamente a la producción de alimentos y fibras, mientras que el “mundo natural” conserva la biodiversidad y los otros atributos o funciones ecosistémicas (Sarandón, 2009). Por otro lado, la definición menciona las necesidades económicas, alimenticias, y socioculturales, reconociendo que, además del dinero, hay otros valores importantes a tener en cuenta que hacen a la satisfacción del ser humano.

Asimismo, este concepto de sustentabilidad implica admitir que la satisfacción de las necesidades, está (o debería estar) restringida por los límites biofísicos de los sistemas naturales que la soportan (si queremos conservar los recursos naturales). Es decir, cada agroecosistema presenta características propias: suelos, climas, biodiversidad, topografía, disponibilidad de agua, etc. que definen o determinan su capacidad productiva, su potencial (de acuerdo a la calidad de sus recursos naturales), lo que podríamos asimilar al concepto de la ecología de “capacidad de carga”.

La idea de que existe un límite a la satisfacción de nuestras necesidades, como un deber ético con las futuras generaciones es, tal vez, uno de los aspectos menos comprendidos y más difíciles de aceptar de este concepto (Sarandón, 2009).

Para cumplir con la sustentabilidad y satisfacer las necesidades de las actuales y futuras generaciones, el estilo de agricultura debe poder mantenerse en el tiempo. Para ello deben cumplirse una serie de requisitos. La falta de cumplimiento de los mismos pone en duda, en el corto o largo plazo, la sustentabilidad. Esta agricultura debería ser:

- 1) *Suficientemente productiva* (dependiendo del nivel de análisis).
- 2) *Económicamente viable* (a largo plazo y contabilizando todos los costos).
- 3) *Ecológicamente adecuada* (que conserve la base de recursos naturales y que preserve la integridad del ambiente en el ámbito local, regional y global).
- 4) *Cultural y socialmente aceptable*.

Se busca entonces un sistema que pueda producir suficiente alimento para satisfacer la demanda del agricultor y su familia en primer lugar y de la humanidad en segundo lugar. Esto depende del nivel de análisis: muchos sistemas agropecuarios no tienen por fin producir para alimentarse sino para obtener dinero para luego comprar estos alimentos. Pero, para aquellos sistemas de autosuficiencia, es fundamental que los niveles de producción

sean suficientes para satisfacer la demanda del agricultor y su familia. Si esto no se consigue, el sistema no puede continuar en el tiempo.

Por otro lado, debe ser económicamente viable, sin dudas, para permitir al agricultor y su familia satisfacer sus necesidades, reconociendo que no todas son meramente económicas ya que hay aspectos socioculturales importantísimos para lograr la satisfacción del agricultor que no deben dejarse de lado. Por otro parte, es importante reconocer que la valoración económica debe ser hecha teniendo en cuenta todos los costos, incluyendo los costos ocultos (ver Capítulo 3) y a largo plazo.

Claramente, la idea de solidaridad con las futuras generaciones implica conservar la capacidad productiva del sistema y esto incluye mantener o mejorar los recursos (agua, biodiversidad, suelo) que constituyen el capital natural y preservar el ambiente a nivel local, regional o global, como la calidad del agua, el aire, la atmósfera, entre otros.

Finalmente, el modelo de agricultura debe ser social y culturalmente aceptable, tanto para el agricultor, de acuerdo a sus intereses, creencias y valores, como para el resto de la sociedad.

Está claro, por lo tanto, que la sustentabilidad es un concepto multidimensional complejo porque incluye el cumplimiento simultáneo de varios objetivos o dimensiones: productivo, ecológico, temporal, económico y sociocultural. Estos objetivos son **igualmente importantes, de cumplimiento simultáneo, y no son reemplazables los unos con los otros.**

Analizando la complejidad de este desafío y la multidimensión de sus objetivos, surge inmediatamente una pregunta: ¿Es posible alcanzar estos objetivos con el mismo enfoque que originó los problemas que se pretenden solucionar? Esta claro que el desarrollo de esta nueva agricultura requiere de un profundo cambio en el enfoque con que se abordan los agroecosistemas: un mayor y mejor conocimiento de sus componentes y de las interrelaciones entre ellos. Es un cambio de paradigma (un modo de ver y entender la realidad) con todo lo que ello implica.

Sin embargo, tradicionalmente se ha orientado la investigación y enseñanza, hacia una agricultura de altos insumos, intensiva en capitales y en

tecnología enfocando a los componentes individuales (cultivo, maleza, plaga o nutriente) y no al sistema ecológico sobre el cual se aplican estas tecnologías (Altieri, 1991a). Es indispensable, entonces, un cambio en el enfoque o en la óptica con el que se ha abordado, hasta ahora, la producción en los sistemas agropecuarios.

El enfoque agroecológico: el camino necesario

El manejo sustentable de los agroecosistemas, requiere abordarlos como un tipo especial de ecosistema, teniendo en cuenta las interacciones de todos sus componentes físicos, biológicos y socioeconómicos y el impacto ambiental que éstos producen.

Es necesario entonces, un nuevo paradigma que intente dar soluciones novedosas partiendo de la consideración de las interacciones de todos los componentes físicos, biológicos y socioeconómicos de los sistemas agropecuarios integrando este conocimiento en el ámbito regional para una producción sustentable. Este nuevo enfoque es la Agroecología, que ha sido definida como el desarrollo y aplicación de la teoría ecológica para el manejo de los sistemas agrícolas, de acuerdo a la disponibilidad de recursos (Altieri, 1987).

La Agroecología no es, entonces, un conjunto de técnicas o recetas que se proponen para reemplazar las generadas por la Revolución Verde. No se pretende reemplazar el dogma “productivista” por un “Dogma Agroecológico”. La Agroecología podría definirse o entenderse como: “Un nuevo campo de conocimientos, un enfoque, una disciplina científica que reúne, sintetiza y aplica conocimientos de la agronomía, la ecología, la sociología, la etnobotánica y otras ciencias afines, con una óptica holística y sistémica y un fuerte componente ético, para generar conocimientos y validar y aplicar estrategias adecuadas para diseñar, manejar y evaluar agroecosistemas sustentables” (Sarandón, 2002b).

Principales características del Enfoque Agroecológico

La Agroecología parte de una serie de premisas metodológicas para desarrollar, integrar y mejorar las prácticas que respondan a sus principios (Guzmán *et al.*, 2000):

- Un enfoque holístico y sistémico.
- Una mirada multidisciplinaria, entendiendo que los sistemas sólo pueden entenderse a través de las perspectivas que aportan diferentes áreas del conocimiento.
- Una investigación-acción participativa, en que los agricultores son sujetos y no sólo objetos del proceso de investigación.

La Agroecología debe entenderse como un nuevo enfoque, más amplio, que reemplaza la concepción exclusivamente técnica por una que incorpora la relación entre la agricultura y el ambiente global y las dimensiones sociales, económicas, políticas, éticas y culturales. La sustentabilidad debe ser vista como una búsqueda permanente de nuevos puntos de equilibrio entre estas diferentes dimensiones que pueden ser conflictivas entre sí en realidades concretas (Caporal & Costabeber, 2004a).

Desde la **dimensión social** se busca una mayor equidad intra e intergeneracional. Esto implica promover la distribución más equitativa (tanto de la producción como de los costos) entre los beneficiarios de las generaciones actuales sin poner en riesgo la manutención de las generaciones futuras. La dimensión social también contempla la producción de alimentos sanos que aseguran mejor calidad de vida de la población. Otros aspectos vinculados a la dimensión social de la Agroecología se relacionan con la seguridad y soberanía alimentaria y el avance hacia la construcción de formas de acción colectiva que robustezcan el desarrollo y mantenimiento del capital social.

Desde el **punto de vista cultural**, la Agroecología entiende que la intervención sobre los agroecosistemas debe considerar los valores y saberes locales de las poblaciones rurales y que los mismos deben ser el punto de

partida para la generación de propuestas de desarrollo rural. La revalorización del saber local en los procesos de producción de conocimiento se confronta a la idea dominante de que se podía desarrollar un solo tipo de agricultura (“el mejor”) independientemente de las especificidades ecológicas, sociales y culturales de cada agroecosistema.

Uno de los aspectos más destacados de la Agroecología es la fuerza con la que introduce y resalta este componente sociocultural. Esto es así porque entiende que es el agricultor/a quien decide modificar los ecosistemas naturales para transformarlos en agroecosistemas. A diferencia de los ecosistemas naturales, cuya estructura es producto de las condiciones ambientales, existe una coevolución entre los agroecosistemas y los agricultores que determina la distribución y el diseño en el espacio y el tiempo de los componentes del sistema. El tipo y la distribución de los cultivos, animales y plantas espontáneas, dependen de los valores, creencias y objetivos del agricultor/a. El estilo de agricultura que cada productor/a elige se relaciona con su entorno socioeconómico, cultural, sus conocimientos, intereses, su relación con la comunidad, etc. Desconocer este componente o minimizarlo, como muchas veces se ha hecho en las Ciencias Agrarias, es un grave error que ya ha generado consecuencias negativas importantes.

Desde el **punto de vista ecológico** la Agroecología busca la conservación y rehabilitación de los recursos naturales a nivel local, regional y global utilizando una perspectiva holística y un enfoque sistémico que atienda a todos los componentes y relaciones del agroecosistema, que son susceptibles a ser deteriorados por las decisiones humanas.

En la **dimensión económica** se busca la el logro de un beneficio que permita cubrir las necesidades económicas del productor y su familia y la disminución de los riesgos asociados a la dependencia de los mercados, de los insumos o a la baja diversificación de productos. En esta evaluación económica deberían tenerse en cuenta o considerarse, todos los costos y no sólo aquellos que pueden expresarse en unidades monetarias.

La **dimensión política** tiene que ver con los “procesos participativos y democráticos que se desarrollan en el contexto de la producción agrícola y del desarrollo rural así como las redes de organización social y de representaciones de los diversos segmentos de la población rural” (Caporal & Costabeber, 2004a). No hay dudas que a nivel regional, nacional o supranacional, no puede desarrollarse un nuevo modelo de agricultura sino existe una voluntad política para ello.

La **dimensión ética** (inseparable del concepto de sustentabilidad) insiste en la necesidad de componer un nuevo vínculo moral (*corpus* de valores) que incluya el respeto y la preservación del medio ambiente no sólo para éstas, sino también para las futuras generaciones. En este sentido, será necesario, por un lado, crear nuevos valores que disminuyan el consumo excesivo y el deterioro ambiental provocado por estilos de vida que devastan el ambiente, y, por el otro, la reivindicación de la ciudadanía y la dignidad humana, la lucha contra el hambre y la eliminación de la pobreza y sus consecuencias sobre el medio ambiente.

La Agroecología considera entonces, que los sistemas agrícolas deben percibirse como ecosistemas complejos, con límites amplios, teniendo en cuenta el efecto ambiental que ejercen las prácticas agrícolas, incorporando el costo ambiental y social en la ecuación económica de la producción.

Una de las diferencias de la Agroecología con el enfoque de la agricultura intensiva, es que busca soluciones de acuerdo con las necesidades y aspiraciones de las comunidades, así como en las condiciones biofísicas y socioeconómicas imperantes. Por lo tanto, las propuestas son, muchas veces, válidas en el orden local y para situaciones particulares. Otro elemento que la Agroecología incorpora en su enfoque es la revaloración del “conocimiento campesino”, el conocimiento propio de los agricultores, el cual, se asume, es derivado de una variedad cultural que ha coevolucionado con las condiciones naturales, por lo que es necesario darle presencia en el desarrollo técnico-científico (Altieri, 1991b).

Resumiendo, “la Agroecología se consolida como enfoque científico en la medida en que este campo de conocimientos se nutre de otras disciplinas

científicas, así como de saberes, conocimientos y experiencias de los propios agricultores, lo que permite el establecimiento de marcos conceptuales, metodológicos y estratégicos con mayor capacidad para orientar tanto el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables como los procesos de desarrollo rural sustentable” (Caporal & Costabeber, 2004b). Presenta, en consecuencia diferencias substanciales con el paradigma productivista de la agricultura convencional en lo que se refiere a enfoques y objetivos, (Tabla 2.3).

Enfoque productivista Agricultura Intensiva	Enfoque Agroecológico Agricultura Sustentable
ENFOQUE	
<ul style="list-style-type: none"> • Reduccionista • Hay un solo tipo de agricultura • La ética: un valor “difuso”. • Falta de una óptica sistémica • Importancia de los componentes • Reducción o mala definición de los límites del sistema. • Sólo reconoce al conocimiento científico. • Lo local es poco importante. • Uso exclusivo del territorio. • Minimiza aspectos socioculturales. • Principalmente basada en tecnologías de insumos. • Los científicos “generan” la tecnología. 	<ul style="list-style-type: none"> • Holístico • Existen varios modos de hacer agricultura • La ética como valor fundamental. • Empleo de una óptica sistémica • Importancia de las interrelaciones • Ampliación y redefinición de los límites del sistema. • Reconoce el conocimiento científico y otros. Concepto pluriépistemológico • Lo local es importante: potencial endógeno • Uso múltiple del territorio: alimentos, turismo, paisaje, servicios ecológicos, • Revaloriza aspectos socioculturales. • Principalmente basada en tecnologías de procesos. • Participación del agricultor en la generación de tecnología.
OBJETIVOS	
<ul style="list-style-type: none"> • A corto plazo • Concepto productivista • Énfasis en el rendimiento • No incorpora el costo ambiental • Sistemas simples, baja diversidad (inestabilidad) • La biodiversidad como fuente de genes. 	<ul style="list-style-type: none"> • A largo plazo • Concepto sustentable • Énfasis en el agroecosistema y ecosistemas relacionados • Incorporación del costo ambiental • Sistemas complejos, alta diversidad (estabilidad) • La biodiversidad funcional y estructural en los agroecosistemas y como soporte de vida.

Tabla 2.3: Diferencias entre el enfoque productivista y el enfoque agroecológico. (Sarandón & Sarandón, 1993, modificado)

La Agroecología promueve un manejo de los agroecosistemas que tenga en cuenta las siguientes características (Tabla 2.4):

- Una producción eficiente y rentable a largo plazo (considerando el costo ecológico) que promueva la conservación de suelos, agua, energía y recursos biológicos (como la biodiversidad).
- Una disminución del riesgo debido a fluctuaciones ambientales (bióticas y abióticas) o de mercado. Lograr una mayor estabilidad y resiliencia en el tiempo.
- Un uso o degradación de los recursos naturales renovables a un ritmo menor o igual a su tasa de reposición.
- Un uso o explotación de los recursos no renovables a un ritmo menor o igual al de la tasa de desarrollo de tecnologías alternativas.
- Una emisión de residuos similar o menor a la capacidad de asimilación del ambiente.
- Un aumento en la biodiversidad funcional de los sistemas productivos.
- Una menor dependencia del uso de insumos externos (combustibles fósiles, plaguicidas, fertilizantes sintéticos, etc.)
- Un uso más eficiente de la energía (principalmente fósil).
- Un mayor aprovechamiento de procesos naturales en la producción agrícola (reciclaje de materia orgánica y nutrientes, fijación de nitrógeno, alelopatía y relaciones predador-presa).
- Una eliminación o disminución del daño al ambiente, a otras especies, y/o a la salud de agricultores y consumidores.
- Un ajuste de los sistemas de cultivo a la productividad potencial y a las limitantes físicas, económicas y socioculturales de los agroecosistemas.
- Un desarrollo de tecnologías que sean cultural y socialmente aceptables.

Tabla 2.4: *Objetivos y estrategias a lograr para un manejo sustentable de los agroecosistemas: (Sarandón, 2002a, modificado)*

Este tipo de manejo permite diseñar sistemas más estables y con menores riesgos financieros. La diversificación puede también reducir las presiones económicas producidas por un aumento en el uso de pesticidas, fertilizantes, y otros insumos, caída de precios en el mercado y de algunas regulaciones que afectan la disponibilidad de ciertos insumos.

¿Qué No es la Agroecología? Algunas confusiones sobre el significado de la Agroecología como ciencia

El término Agroecología, se ha generalizado ampliamente en ámbitos académicos, científicos, técnicos, políticos, productivos, lo que ha generado que muchas veces se emplee este término con diferentes significados, lo que dificulta enormemente la comunicación y se presta a confusiones.

Creemos que es importante aclarar cuál es su significado para los autores de este libro, a fin de poder compartir un lenguaje y significado común y discutir algunas confusiones sobre el término (Tabla 2.5).

- No es un “estilo” de agricultura (orgánica, biodinámica, natural, permacultura).
- No es una serie de técnicas o “recetas ecológicas”.
- No consiste en el “no uso de insumos químicos” (pesticidas, fertilizantes). **No prohíbe.** No hay normas.
- No es sinónimo de una “vuelta al pasado” o a tecnologías “prehistóricas”.
- No reniega ni desconoce los aportes de la ciencia ni de la tecnología moderna.
- No significa “no intervenir” los agroecosistemas, dejar todo “natural”.
- No es aplicable sólo a ciertos tipos de agricultores: marginales, de pequeña escala, o escasos de recursos.

Tabla 2.5: Qué **no** es la Agroecología, algunos conceptos erróneos (Sarandón & Flores, 2012), *modificado*

La confusión más habitual es entender a la Agroecología como un estilo de agricultura, como una serie de recetas o normas que prohíben ciertos productos o prácticas. El término es utilizado casi como un equivalente al de agricultura orgánica, biodinámica, permacultura o agricultura ecológica.

Posiblemente esto se deba a que la Agroecología, como ciencia, busca comprender y evaluar el impacto que tiene la aplicación de ciertos productos, como plaguicidas, desde el punto de vista ambiental, ecológico, sanitario y económico para numerosos productores. En este sentido, señala la inconveniencia de su uso (sobre todo para agricultores sin recursos) y sugiere

la posibilidad de reemplazarlo por funciones ecosistémicas. En esta acepción restringida del término, es habitual que se reproduzcan frases equivocadas del estilo: “la Agroecología es menos rentable o menos productiva que la agricultura convencional”. En realidad, lo que quiere decirse es que los sistemas diseñados bajo un modelo conceptual de la Agroecología son menos productivos o rentables. De esta idea de la Agroecología, como un estilo de agricultura, también deriva la concepción de que la misma es un conjunto de técnicas o recetas o que prohíbe el uso de agroquímicos.

Caporal & Costabeber, (2004b) también señalan que es necesario distinguir entre un tipo de agricultura basada en los principios de la Agroecología (en muchos textos denominada agricultura de base ecológica) y aquellos estilos de agriculturas alternativas que, a pesar de denominarse de maneras tales que hacen presuponer el uso de técnicas y/o procesos que parecen atender ciertos requisitos ambientales o sociales, no necesariamente vienen de la mano de las orientaciones más amplias que derivan de los principios de la Agroecología. Un ejemplo de esto sería una agricultura orgánica o ecológica que se limite a la no utilización de agrotóxicos o fertilizantes químicos de síntesis en su proceso productivo para cumplir con las exigencias de certificación, pero, por ejemplo, no mantenga la diversidad biológica ni cultural. Esta agricultura que trata apenas de sustituir insumos convencionales por insumos ecológicos u orgánicos, muchas veces para mercados “de elite” donde se paga un sobreprecio por productos más sanos, difícilmente contemplará todos los principios derivados de la Agroecología.

Tampoco significa una vuelta al pasado o a tecnologías prehistóricas o preindustriales, aunque no se niega a entender la racionalidad subyacente en algunas de estas prácticas tradicionales y estudiar la posibilidad de su adecuación a la realidad de muchos agricultores que no pueden afrontar el pago de insumos o tecnologías costosas.

Tampoco significa no intervenir, dejar todo natural, no combatir plagas y malezas, dejando que la “naturaleza haga su trabajo”. Por el contrario, el diseño, manejo y evaluación de agroecosistemas sustentables es un gran desafío que requiere muchos y complejos conocimientos, que la ciencia

agronómica actual, reduccionista, difícilmente puede resolver, pero que, seguramente lo hará en el futuro, de introducirse el enfoque agroecológico, al plantear nuevos objetivos y formas de investigación.

Alcances de la propuesta agroecológica

A pesar de que en los últimos años ha habido un notable avance de la Agroecología en distintos ámbitos, aún existen muchas dudas sobre sus alcances y aplicación y sobre el destinatario de la propuesta agroecológica ¿Para quién sirve la Agroecología? ¿Para qué tipo de agricultores es necesaria? ¿Es solamente para aquellos “pequeños” productores o campesinos marginales, pobres en recursos? ¿O es para todos? ¿Es posible su aplicación a los sistemas extensivos pampeanos?

Como hemos venido discutiendo, entendemos a la Agroecología como un enfoque o disciplina científica que permite el diseño, manejo y evaluación de agroecosistemas sustentables (Altieri, 1987). Si entendemos a la sustentabilidad como un compromiso ético con las futuras generaciones, entonces todos los agricultores deberían manejarse con este enfoque. Sería entonces un error limitar o sesgar la aplicación de la Agroecología sólo a un determinado tipo de productor. Esto limitaría el campo de acción y la fuerza de la Agroecología.

En algunos países de Latinoamérica es frecuente encontrar casos de agricultura sustentable basados en tecnologías desarrolladas por comunidades marginales de campesinos o indígenas desde tiempos ancestrales. En estos casos, la Agroecología ha rescatado y revalorizado el conocimiento campesino y ha mostrado la validez de los principios ecológicos subyacentes a estas prácticas, su “Racionalidad Ecológica”. (Altieri, 1991b, Toledo, 1992). Esto puede verse en la Figura 2.1.

Tal vez, esto ha llevado a la idea errónea de que la Agroecología es sólo una serie de recetas que funcionan bien en sistemas marginales de producción, con superficies pequeñas, con recursos limitados o en aquellos cuya finalidad es la autosuficiencia alimentaria, pero que no es aplicable en otro tipo de sistemas como los sistemas extensivos y/o más tecnificados de producción.

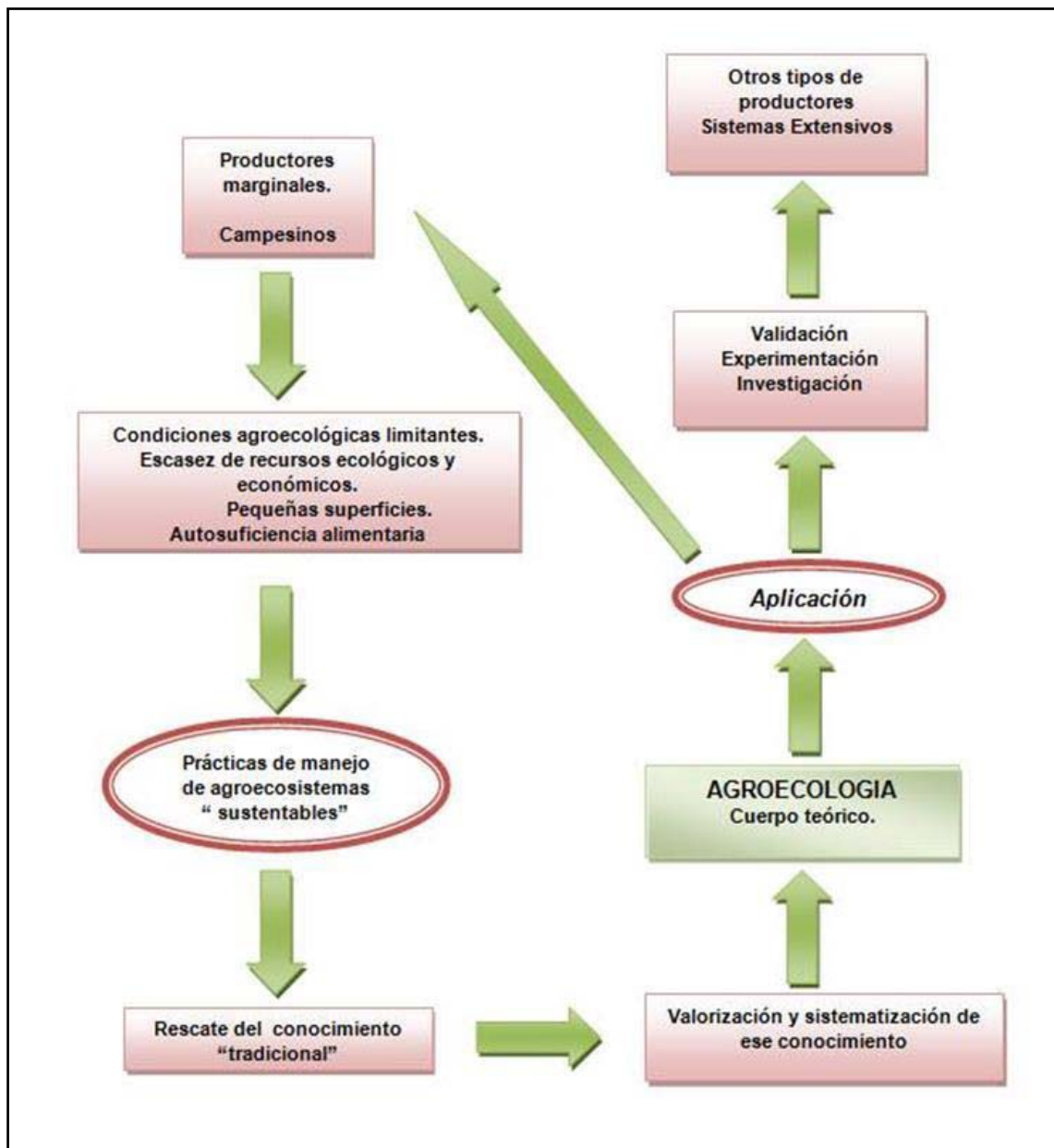


Figura 2.1: Alcances de la propuesta agroecológica

Por otro lado, uno podría preguntarse ¿Es aplicable el enfoque de la Agroecología para mejorar la sustentabilidad de los sistemas extensivos, como los de la Pampa Argentina? El hecho de que los ejemplos utilizados en la literatura agroecológica pertenezcan a un determinado tipo de sistemas productivos, no significa que sólo en estos sistemas funcionen las bases de la Agroecología. Los principios agroecológicos deben ser adecuados para el

análisis y manejo de cualquier agroecosistema, incluso para sistemas extensivos, como señalan Sarandón & Sarandón (1996), Sarandón (2000), Flores & Sarandón (2003, 2008). Es decir, lo que la Agroecología pretende es entender y utilizar los principios generales que rigen el funcionamiento de los sistemas y sus componentes. Pero su aplicación práctica, la forma de llevar a cabo estos principios, es sitio dependiente (y productor dependiente también) y deberá experimentarse junto con el/la agricultor/a para encontrar la mejor alternativa. Está claro que, para sistemas extensivos, de clima templado deberán investigarse, desarrollarse y experimentarse, junto con los agricultores, otras alternativas de producción fundadas en los principios básicos de la teoría agroecológica existente.

El Futuro

En este Capítulo se ha analizado qué es la Agroecología y cuál puede ser su aporte para el logro de una agricultura sustentable, al proponer un nuevo paradigma de abordaje de la producción agropecuaria, un nuevo enfoque. Sin embargo, el logro de una agricultura sustentable es un camino largo y complejo. Existen otros actores y otras medidas que deben encararse para su logro, entre las que se pueden citar:

- Desarrollar una *mayor conciencia* sobre el impacto ambiental de la agricultura intensiva y sobre sus causas.
- Internalizar el *concepto del desarrollo sostenible*. Nuestro compromiso ético con las futuras generaciones.
- Mejorar los conocimientos sobre el *funcionamiento de los agroecosistemas*, como sistemas físicos, biológicos y socioeconómicos.
- Modificar los planes de estudio y metodologías de enseñanza en las Instituciones de Educación Agrícola Media y Superior. Incorporación y valoración de la ética.
- Incentivar el desarrollo e *investigación de tecnologías más sostenibles*, basadas en procesos y no tanto en insumos.

- Incorporación del costo ambiental en la evaluación del "éxito" económico de las actividades agropecuarias. Metodologías para "internalizar" las externalidades o incorporar análisis multicriterio.
- Encarar investigaciones tendientes al desarrollo y validación de metodologías adecuadas para evaluar la sustentabilidad de las prácticas agrícolas. Uso de Indicadores.
- Cambiar los patrones de consumo de productos agropecuarios. Reemplazar aspectos "cosméticos" por nutritivos. Facilitar la comercialización de estos productos.
- Desarrollar un marco legal apropiado que favorezca tecnologías que tiendan a la sostenibilidad y desaliente aquellas que atentan contra la misma. La calidad del medio ambiente debe ser vista como un derecho irrenunciable de la población.
- Tomar conciencia del rol irrenunciable del estado en incentivar prácticas sostenibles y desalentar las no sostenibles. Se debe tomar como una inversión y no un gasto.

Conclusiones

Sólo una adecuada toma de conciencia sobre la problemática de la agricultura, sus causas y la necesidad de la incorporación de los principios agroecológicos, con una óptica sistémica y holística, podrá asegurar una producción de alimentos ecológicamente adecuada, económicamente viable y socialmente justa para nosotros y para las futuras generaciones.

Preguntas para el repaso y la reflexión

1. *¿Cuáles son las causas que han provocado que el modelo de agricultura predominante sea insustentable?*
2. *Analice la discusión planteada desde las dos posturas o enfoques existentes acerca de las causas de la insustentabilidad de este modelo de agricultura ¿Cuál es su opinión al respecto?*

3. *¿Por qué señala Vandana Shiva que la comparación entre los éxitos de los cultivos modernos de la Revolución Verde y las técnicas tradicionales de los agricultores que esta desplazó, ha sido inequitativa?*
4. *¿Cuál es la crítica que se le hace al modelo productivista en cuanto al enfoque con que ha encarado la generación y transferencia de tecnologías? ¿Cuál cree usted que es modelo imperante en la actualidad? ¿Qué consecuencias trae la aplicación de este modelo?*
5. *¿Cuáles son las diferencias en cuanto a enfoques y objetivos entre una agricultura tipo revolución verde o intensiva y una sustentable con enfoque agroecológico? ¿Cuál de estos enfoques cree usted que predomina en su región o Institución? ¿Por qué?*
6. *¿Qué se entiende por Agricultura Sustentable y cuáles son los requisitos que debe cumplir? ¿Cree que se podrían cumplir estos requisitos con el enfoque de la revolución verde? ¿Por qué?*
7. *¿A qué se refiere el concepto multifuncionalidad de la Agricultura?*
8. *¿Qué significa el enfoque holístico y sistémico? ¿Por qué es importante?*
9. *¿Qué es la Agroecología? ¿Cuáles son las principales características del enfoque agroecológico? ¿Cuáles son las dimensiones que contempla el enfoque agroecológico?*
10. *¿Por qué cree Ud. que la Agroecología presta especial importancia a la dimensión social?*
11. *¿Por qué cree que desde el enfoque agroecológico lo local es importante? ¿Cuál es su opinión al respecto?*
12. *Reflexione sobre cuál es la contribución que puede hacer la Agroecología como ciencia para proponer soluciones a la problemática rural actual en el marco de una agricultura sustentable.*
13. *¿Cree que es posible utilizar algunas de las técnicas de la revolución verde desde la propuesta agroecológica?*

Bibliografía citada

- Alonso Mielgo A & E Sevilla Guzmán (1995) Sobre el discurso ecotecnocrático de la sostenibilidad. En A. Cadenas (Ed.) Agricultura y desarrollo sostenible (Madrid: MAPA, Serie Estudios): 91-119.
- Altieri MA (1987) Agroecology. The Scientific Basis of Alternative Agriculture. Westview Press, Boulder, Colorado. 227 pp.
- Altieri MA (1991a) Incorporando la Agroecología al currículo agronómico. Texto Base para la Reunión CLADES/FAO, sobre Agroecología y Enseñanza Agrícola en las Universidades Latino Americanas. Santiago de Chile, 2-6 de Septiembre, 1991.
- Altieri MA (1991b) ¿Por qué estudiar la agricultura tradicional? En Agroecología y Desarrollo. CLADES. 1991. N° 1:25.
- Borlaug N (1969) Mejoramiento de trigo: Su impacto en el abastecimiento mundial de alimentos. Tercer Simposio Internacional de Genética de Trigo, Canberra, Australia, 1968. CIMMYT, México, 40 pp.

- Caporal FR & JA Costabeber (2004a) Agroecologia e extensão rural. Contribuições para a promoção do desenvolvimento rural sustentável. MDA/SAF/DATER-IICA. Brasília DF. 119 pp.
- Caporal FR & JA Costabeber (2004b) Agroecologia: Alguns conceitos e principios. MDA/SAF/DATER-IICA. Biblioteca Marilea Pinheiro Fabiao-CRB10/161. Brasília DF: 24pp.
- Ceccarelli S (1996) Adaptation to low/high input cultivation. *Euphytica* 92: 203-214.
- CMMAD (1988) Nuestro futuro común. Madrid. Alianza Editorial.
- Descartes R (1637) El discurso del Método. Reglas para la dirección de la mente. Ediciones Orbis, (1983), Argentina, 563 pp.
- Ewing B, S Goldfinger, A Oursler, A Reed, D Moore & M Wackernagel (2009) The Ecological Footprint Atlas 2009. Oakland: Global Footprint Network. 111 pp.
- Flores CC & SJ Sarandón (2003) ¿Racionalidad económica versus sustentabilidad ecológica? El análisis económico convencional y el costo oculto de la pérdida de fertilidad del suelo durante el proceso de Agriculturización en la Región Pampeana Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*: 105 (1): 52-67.
- Flores CC & SJ Sarandón (2008) ¿Pueden los cambios tecnológicos basados en el análisis costo-beneficio cumplir con las metas de la sustentabilidad? Análisis de un caso de la Región de Tres Arroyos. Argentina. *Revista Brasileira de Agroecologia*. 3 (3): 55-66.
- Guzmán Casado G, M González de Molina & E Sevilla Guzmán (2000) Métodos y técnicas en Agroecología. En: *Introducción a la Agroecología como desarrollo rural sostenible*. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. 5: 149-195.
- IICA (1999) Discurso de Severino De Melo Araujo, Subdirector General de FAO para América Latina y el Caribe. XI Conferencia Latinoamericana de ALEAS. Abril 1997. Santiago, Chile. En: *Educación Agrícola Superior, Desarrollo Sostenible, Integración Regional y Globalización*, R Chateneuf, A Violic & E Paillacar (Eds): 9-13.
- IICA (2012) Situación y desempeño de la agricultura en ALC, desde la perspectiva tecnológica. San José, C.R.: IICA. 92 pp.
- INTA (2005) Programa Nacional de Investigación y Desarrollo tecnológico para la pequeña agricultura familiar. Documento Base.
- Leff E (1994) Sociología y ambiente: formación socioeconómica, racionalidad ambiental y transformaciones del conocimiento. En E. Leff (Comp) *Ciencias Sociales y Formación Ambiental*, Gedisa Editorial, Barcelona: 17-84.
- Sarandón SJ (2000) Manejo de la biodiversidad en sistemas extensivos. *Boletín de ILEIA*, Perú. 15 (3-4): 16-17.
- Sarandón SJ (2002a) La agricultura como actividad transformadora del ambiente. El Impacto de la Agricultura intensiva de la Revolución Verde. En "AGROECOLOGIA: El camino hacia una agricultura sustentable", SJ Sarandón (Editor), Ediciones Científicas Americanas, La Plata. 1: 23-48.
- Sarandón SJ (2002b) Incorporando el enfoque agroecológico en las Instituciones de Educación Agrícola Superior: la formación de profesionales para una agricultura sustentable. *Revista Agroecología y Desarrollo Rural Sustentável*. EMATER RS, Brasil, 3 (2): 40-49.
- Sarandón SJ (2009) Educación y Formación en Agroecología: Una necesidad impostergable para un desarrollo Rural Sustentable. *Revista Brasileira de Agroecologia* 4(2): 5306-5320.
- Sarandón SJ & CC Flores (2012) La Agroecología: un paradigma emergente para el logro de un Desarrollo Rural Sustentable. In Frédéric Goulet, Danièle Magda, Nathalie Girard et

- Valeria Hernandez (Eds.) *L'agroécologie en Argentine et en France. Regards croisés.* Editions de L'Harmattan. Paris, France, III: 91-119.
- Sarandón SJ & GM Hang (2002) La investigación y formación de profesionales en agroecología para una agricultura sustentable: El rol de la Universidad. En "AGROECOLOGIA: El camino hacia una agricultura sustentable", SJ Sarandón (Editor), Ediciones Científicas Americanas, La Plata. 23: 451-464.
- Sarandón SJ & R Sarandón (1993) Un enfoque ecológico para una agricultura sustentable En: Goin F y C Goñi (Eds.) *Bases para una política ambiental de la R. Argentina*, Sección III, 19:279-286, HC Diputados de la Pcia de Buenos Aires.
- Sarandón SJ & R Sarandón (1996) Aplicación del enfoque agroecológico en sistemas extensivos: estudio de un caso en Argentina. *Agroecología y Desarrollo*, CLADES (Chile) 10: 34-38.
- Sarandón SJ, E Cerdá, N Pierini, J Vallejos & ML Garatte (2001) Incorporación de la Agroecología y la agricultura sustentable en las escuelas agropecuarias de nivel medio en la Argentina. El caso de la Escuela Agropecuaria de Tres Arroyos. *Tópicos en Educación Ambiental*, México, 3 (7):30-42.
- Sarandón SJ, MS Zuluaga, R Cieza, C Gómez, L Janjetic & E Negrete (2006) Evaluación de la sustentabilidad de sistemas agrícolas de fincas en Misiones, Argentina, mediante el uso de indicadores. *Revista Agroecología*, 1: 19-28.
- Shiva V (1991) *The violence of the green revolution. Third World Agriculture, Ecology and Politics.* Third World Network, Pennang, Malaysia. 264pp.
- Toledo VM (1992) La racionalidad ecológica de la producción campesina. En: *Ecología, campesinado e historia.* Sevilla Guzmán E y M Gonzáles de Molina (Editores). Ed. La Piqueta. Madrid. España. 1993. 5:197-218.

CAPÍTULO 3

SUSTENTABILIDAD ECOLÓGICA VS. RENTABILIDAD ECONÓMICA: EL ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA SUSTENTABILIDAD

Claudia C. Flores y Santiago J. Sarandón

Introducción

Una de las principales dificultades para avanzar hacia la sustentabilidad es su supuesta contradicción con los objetivos económicos. En general, la sustentabilidad es un objetivo incuestionable: todos están de acuerdo en lograrlo. Pero, muchas veces surge la duda: ¿Es posible compatibilizar los objetivos ecológicos con los económicos? ¿Es posible que una alternativa productiva más benigna con el medio ambiente sea, a su vez, económicamente rentable? En general, se considera que esto no es así, a no ser que se paguen sobrepagos por los productos “ecológicos” que, de hecho, son más costosos. Bajo este enfoque, muchas veces se descartan propuestas productivas ecológicamente más adecuadas, porque las mismas están asociadas a una supuesta menor rentabilidad. O, al menos, esto es lo que se cree.

Ciertamente, resulta muy difícil concebir que ambos objetivos puedan ser compatibles, dado que, en apariencia, la sustentabilidad ecológica y la racionalidad económica son dos conceptos opuestos. Esta idea se debe a que, por definición, estas dos disciplinas estudian objetos diferentes: la *ecología* el conjunto de la biosfera y los recursos que integran el planeta y la *economía* un conjunto de objetos mucho más limitado que tienen la característica de ser escasos y que pueden ser apropiados, valorados y producidos por el hombre.

Analizando esto, pareciera que este divorcio entre ambos conceptos es algo lógico e inevitable. Sin embargo, en realidad, la economía y la ecología, como ciencias, tienen una raíz etimológica común. La ruptura de intereses entre ambas ciencias es algo reciente (fines del siglo XIX y principios del XX), y se da con la aparición de la doctrina económica neoclásica que separa definitivamente el ambiente de las decisiones económicas y pone al

razonamiento económico sólo en el campo de los valores monetarios. Con la aparición y generalización de este sistema de valoración basado en el dinero, el medio ambiente quedó marginado en la evaluación de alternativas productivas en todos los ámbitos. La producción agropecuaria no fue una excepción. En general, el análisis de las alternativas productivas no ha tenido en cuenta numerosos problemas o “externalidades” que diferentes modelos de producción han provocado en las comunidades rurales, en el medio ambiente y en los propios recursos productivos. Todas cosas valiosas, pero sin precio.

El reconocimiento de estos problemas, junto con las crecientes preocupaciones ecológicas y ambientales de una gran parte de la sociedad, condujo a demandar una nueva conexión entre el mundo económico y el mundo físico-natural. Como consecuencia de estos nuevos vientos de cambio, los economistas han comenzado a reconocer y valorar a un medio ambiente que fue intencionalmente excluido de su propia disciplina. Surgen así nuevas corrientes económicas entre las que se destacan la Economía del Medio Ambiente y la Economía Ecológica en un intento de “ecologizar” la economía, romper el divorcio existente entre ambas ciencias y lograr compatibilizar los objetivos ecológicos, sociales y económicos de la sustentabilidad.

El objetivo de este Capítulo es, justamente, plantear este tema y analizar las limitaciones de la corriente dominante en el terreno económico y los alcances y limitaciones de las nuevas corrientes alternativas para dilucidar si es posible reconciliar la ecología con la economía y, de esta manera, lograr la sustentabilidad de los sistemas productivos.

Limitaciones del enfoque neoclásico para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas

La evaluación de alternativas productivas: el análisis costo-beneficio

A pesar de que, en ámbitos académicos, se está comenzando (en forma

muy incipiente) a discutir la relación entre la racionalidad económica y la sustentabilidad ecológica y su compatibilidad con una agricultura sustentable, la forma de valorar económicamente las actividades agropecuarias no está, aún, siendo seriamente cuestionada. En general, se continúan utilizando los mismos procedimientos de siempre para calcular la conveniencia económica de las diferentes alternativas de producción.

Aparentemente, la forma de evaluar la conveniencia o no de adoptar una nueva tecnología, un nuevo cultivo, de aplicar fertilizantes, plaguicidas etc., es algo muy sencillo que la ciencia agronómica tiene muy claro. Y que, además, no admite muchas posibilidades: es el análisis costo-beneficio, ya sea en la comparación de sus márgenes brutos, o en función de la rentabilidad. Cuando hacemos esto, estamos haciendo uso de la principal herramienta metodológica de la economía neoclásica. Así, por ejemplo, un productor puede decidir realizar sólo agricultura, en lugar de rotar agricultura con ganadería, porque la primera alternativa es más “conveniente” desde el punto de vista económico. A su vez, la suma de estas decisiones individuales puede conducir al cambio de un modelo productivo por otro en la totalidad de una región. Esto es lo que sucedió, por ejemplo, en los años '70 en la Región Pampeana, cuando el modelo agrícola ganadero dominante fue desplazado por el modelo de agricultura continua que aún predomina (y se profundiza).

Es decir, sin lugar a dudas, el análisis costo-beneficio ha sido y aún es, una herramienta poderosísima como factor de cambio de los modelos productivos. Por otro lado, en general, no se duda que estas decisiones son “económicamente racionales”, de hecho, por algo se toman. Sin embargo, no siempre estos cambios están asociados a una mejor calidad de vida para la sociedad. Es más, muchas veces, por no decir la mayoría, se asocian a la aparición de numerosos problemas ecológicos y sociales. Flores & Sarandón, (2008) se preguntan si, de hecho, pueden los cambios tecnológicos basados en el análisis costo-beneficio cumplir con las metas de la sustentabilidad, mediante el análisis de un caso de la Región de Tres Arroyos. Argentina, en la década del 90. En su análisis, observaron una pérdida neta de N y K en la agricultura de la Región, la que, por lo tanto, no puede ser considerada sustentable. Su

productividad se basó en la pérdida de la reserva de nutrientes y la degradación de la materia orgánica, lo que constituye un costo ecológico que no fue tenido en cuenta en la toma de decisiones tecnológicas.

¿Cuál es el problema entonces? ¿Es que el sistema de análisis costo-beneficio está errado? Si es así ¿Cuál es la alternativa? En realidad, el problema no reside tanto en el análisis en sí, sino en la manera en que se calculan los costos... y los beneficios. Aquí radica uno de los principales problemas y razones de conflicto entre sustentabilidad ecológica y rentabilidad económica. El sistema costo- beneficio está mal encarado. De hecho, no mide ni todos los costos ni todos los beneficios que suceden. Y, por lo tanto, es sesgado y lleva a la toma de decisiones erradas.

El problema de la incompatibilidad entre sustentabilidad ecológica y racionalidad económica no reside tanto en el análisis en sí, sino en la manera cómo se calculan los costos...y los beneficios.

Pensemos, por ejemplo, en algunos de los problemas que han aparecido en la Región Pampeana Argentina como consecuencia del proceso de agriculturización: pérdida de nutrientes, disminución en el contenido de materia orgánica, aumento en las tasas de erosión, aumento en el riesgo de contaminación por uso de agroquímicos, sedimentación en predios agrícolas y fuera de ellos, aumento del desempleo y éxodo rural. Ante esta realidad cabe preguntarse: ¿Estos problemas no han ocasionado un costo para el propio productor y/o para toda la sociedad? ¿La pérdida de nutrientes o de suelo por erosión, por ejemplo, debe ser considerada como un subproducto inevitable de esta decisión económicamente racional? ¿Cuál sería el costo de llevar nuevamente a este ambiente a sus condiciones originales?

Evidentemente, estas preguntas resultan racionales, pero nuestra forma de calcular las ganancias no permite la inclusión de estos aspectos (Anexo 3.1).

Anexo 3.1: ¿Cuánto vale la materia orgánica del suelo?

Una muestra de las dificultades que tiene al análisis económico clásico para evaluar los bienes ambientales, en relación con las prácticas agropecuarias puede ser el caso de la materia orgánica del suelo.

Analicemos un ejemplo. Si nosotros aramos un terreno que ha estado en descanso durante algunos años y sembramos un cultivo, seguramente una gran cantidad de nutrientes se pondrán en disponibilidad para el cultivo, que aumentará su rendimiento y, por lo tanto, significará una ganancia económica para el productor. Para estimar la ganancia, en los cálculos deberemos tener en cuenta los ingresos y restarle los costos de producción más las amortizaciones. De esta manera, podemos descubrir que hemos obtenido una ganancia importante. Hasta ahora todo va bien y no parece haber ningún problema. Pero, supongamos (y, de hecho, muchas veces esto ocurre) que luego de este proceso productivo, nuestro suelo ha disminuido su contenido de materia orgánica en un 0,2 %. Es decir, el 5% de contenido inicial se ha reducido a un 4,8%, como consecuencia de la oxidación de esa materia orgánica producto del laboreo. Aunque este valor es figurado, se sabe que la materia orgánica disminuye en suelos sometidos a laboreo constante o luego de cultivos que no aporten muchos residuos, como la soja. Según datos del INTA (Fontanetto & Keller, 2003) en la región de Santa Fe, luego de una soja se pierden 141 kg/ha de carbono del suelo.

El problema que tenemos ahora es bastante complicado. En primer lugar, en nuestro cálculo de rentabilidad no tenemos ningún casillero vacío donde poner esta pérdida de MO de nuestro suelo, que en definitiva, constituye nuestro capital. A diferencia de la maquinaria, que también es un capital, pero que sabemos amortizar, el suelo no es tenido en cuenta como capital productivo sujeto a desgaste (aunque, claramente lo es).

El otro problema, aún mayor quizás, es que, aunque logremos entender la necesidad de considerar esta pérdida de capital como un costo, no sabemos cuánto vale. Es decir, como nuestros cálculos son todos monetarios y no podemos restar materia orgánica de pesos, debemos reconocer que no sabemos realmente si hemos ganado o no con nuestra actividad productiva. Porque, aunque tenemos claros los ingresos, no sabemos los costos. Es más, ¿Es más valioso el "plus" de rendimiento obtenido que el % de MO perdido?

Son preguntas que no tienen una clara respuesta aún y muestran, visiblemente, que nuestros sistemas de cálculo tienen serias deficiencias a la hora de evaluar realmente los costos o beneficios de algunas actividades agropecuarias.

Cuando analizamos estos aspectos, se pone en evidencia que deberíamos ponerle un valor en dinero a esta pérdida. Y aquí debemos reconocer nuestra ignorancia. ¿Cuánto vale un 0,2% de MO? Si no podemos contestar esta pregunta es posible que muchos cambios o adopciones tecnológicas hayan generado un costo que quedó oculto en el análisis costo-beneficio y que, como consecuencia de esto, no pudo prever la degradación de los recursos naturales o ésta se concibió como una consecuencia inevitable de las actividades productivas. Sin embargo, el desafío de una agricultura sustentable, hace necesario reconocer estas limitaciones y hacer enormes

esfuerzos por superar estos inconvenientes. Analicemos, entonces, cuáles son las fallas de esta metodología, universalmente utilizada en la toma de decisiones productivas.

Hemos dicho que el análisis costo beneficio es la principal herramienta de la economía neoclásica y, por lo tanto, está impregnada de sus ideas. Es decir, que, como cualquier herramienta de análisis, no ha surgido de la nada, sino que ha sido diseñada y validada dentro de un esquema de pensamiento dentro del cual tenía lógica. Éste es el de la economía de mercado o economía neoclásica.

Cuando se analizan los beneficios y costos de una actividad sólo se incorporan aquellas variables que tienen un precio en el mercado.

De acuerdo a los supuestos de la economía neoclásica, el medio ambiente tiene características de bien libre, porque carece de los atributos que definen a todo bien económico: no se considera escaso, no es apropiable (no puede pasar a formar parte del patrimonio de nadie), no puede ser producido por el hombre y, por lo tanto, no tiene valor de cambio (o precio de mercado). Tampoco se considera que el medio ambiente puede sufrir un desgaste, más bien se considera indestructible y, por lo tanto, no se necesita reservar una cuota de amortización.

El hecho de que el medio ambiente sea considerado como un bien indestructible y sin valor de cambio es lo que impide que sea incorporado dentro del análisis costo beneficio y permite que el aumento de la productividad a expensas del deterioro de los recursos naturales se contabilice como un aumento de los ingresos cuando, en realidad, se está destruyendo el capital (Yurjevic, 1993).

El hecho de que el medio ambiente sea considerado como un bien indestructible y sin valor de cambio es lo que impide que sea incorporado dentro del análisis costo beneficio.

Cabe entonces preguntarse, ¿Por qué la ciencia económica no se dio cuenta de estas limitaciones? La respuesta a esta pregunta puede ser

descubierta cuando se analiza la visión del mundo asumida por los economistas neoclásicos.

Los supuestos asumidos por la economía neoclásica: Su incompatibilidad con el logro de la sustentabilidad

Varias son las causas por las cuales la visión de la económica neoclásica es incompatible con la idea de sustentabilidad ecológica o de sustentabilidad en su sentido más amplio. Las principales limitaciones parten de conceptos erróneos o limitados en que se ha basado la economía. Es decir, la economía neoclásica se ha construido sobre ciertos supuestos que, a la luz de los conocimientos actuales, presentan varios aspectos controvertibles. Estos supuestos son:

- El sistema económico es concebido como un sistema cerrado.
- Existe una convertibilidad perfecta entre precio y materia.
- El precio es un fiel reflejo del "stock" físico del producto.
- El capital de formación humana es la principal limitante del crecimiento económico.
- Existe una sustitución perfecta entre factores de producción.
- Asume un concepto restringido o limitado de capital.

El sistema económico como un sistema cerrado

La economía neoclásica concibe al sistema económico como un sistema cerrado en sí mismo, donde el proceso económico funciona de forma cíclica (Figura 3.1 A):

Las empresas producen bienes y servicios que son comprados por las familias, las que a su vez, ofrecen en el mercado los factores de producción (capital, tierra o trabajo) que son comprados por las empresas. No existen salidas ni entradas al sistema.

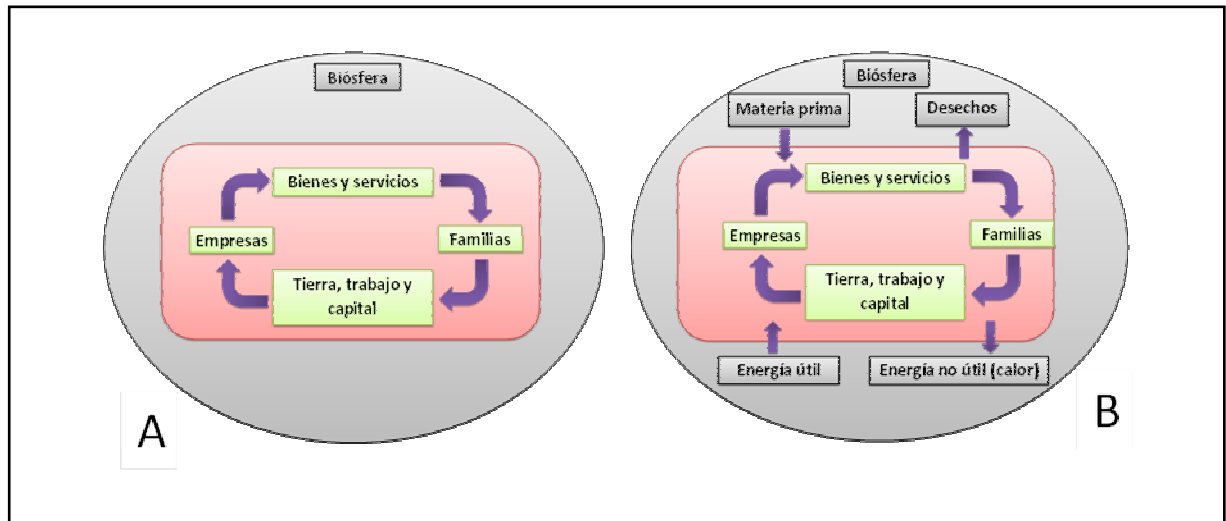


Figura 3.1: Representación esquemática del sistema económico tal como lo concibe la economía neoclásica (A) y desde el punto de vista de la economía ecológica (B)

Sin embargo, este proceso económico no es posible sin el ingreso de materiales originados por la naturaleza y sin la generación de desechos que estarían por fuera de ese diagrama. Los bienes simplemente no aparecen y desaparecen. Proviene de los recursos y se transforman en otra cosa una vez utilizados (residuos) ¿Por qué entonces no son considerados por la economía neoclásica? La respuesta es muy simple: porque, como hemos visto, no tienen precio de mercado y, por lo tanto, se supone que están por fuera del sistema económico.

Partiendo de este supuesto, la economía neoclásica se abstrae de las propias leyes de la naturaleza: se olvida que el funcionamiento de todo sistema está regido por la primera y segunda ley de la termodinámica. Así, los economistas neoclásicos concibieron al sistema económico como un sistema capaz de autosostenerse indefinidamente, como una máquina de movimiento perpetuo (Anexo 3.2). Las consecuencias de esta forma de entender la realidad han sido desastrosas para el medio ambiente.

Por ello, si se quiere alcanzar la sustentabilidad de los sistemas, la economía debe reconocer al sistema económico como un sistema abierto que

funciona de acuerdo a las leyes de la termodinámica, recibiendo desde afuera energía y materiales y disipando calor y desperdicios al medio ambiente (Figura 3.1. B).

De esta manera, se contemplan las principales causas humanas de la crisis ambiental, esto es la depredación y degradación de la naturaleza por la utilización de los recursos naturales a un ritmo no recuperable o lanzando al medio contaminantes a un ritmo superior a la capacidad de reciclaje del ecosistema (Foladori, 2001).

La convertibilidad perfecta entre precio y materia

La economía convencional trabaja con el supuesto implícito de que materia y precio son convertibles. Esto significa que, con la venta de una mercancía X se obtienen una cantidad equivalente de dinero, con el cual podemos obtener la misma mercancía comprándola en el mercado.

Sin embargo, en algunos casos esto puede no ser cierto. Pensemos, por ejemplo, en recursos naturales no renovables como el petróleo: si lo vendemos obtenemos su equivalente en dinero, pero con ese dinero sólo podremos obtener petróleo si es que aún hay (Foladori, 2001). En el caso de los recursos naturales no renovables, la convertibilidad precio-materia es una falacia.

Cuando estos se agoten no habrá manera de regenerarlos a través del dinero. Esta falla en la convertibilidad precio materia se da también, indirectamente, para aquellos productos que requieren para su producción insumos no renovables. Es decir, para casi todos. Si no pensemos: ¿Cuántos insumos derivados del petróleo utilizamos para producir una tonelada de granos?

El precio es un fiel reflejo del “stock” físico del producto

De acuerdo con la teoría neoclásica, los precios son el resultado del juego de oferta y demanda de un producto. Así, cuando la oferta es menor a la

demanda el precio aumenta y, cuando la oferta es mayor a la demanda, el precio disminuye: por ejemplo, el precio del tomate es bajo en verano porque es la época de plena producción y sube en invierno porque se produce una menor cantidad, mientras que la demanda del producto tiene una variación menor.

Así el mercado, a través de los precios, se convierte en el indicador de la disponibilidad de un tipo determinado de producto.

Sin embargo, en el caso de los recursos naturales, esto no es cierto. Pensemos, por ejemplo, en las fluctuaciones del precio del petróleo. Éstas, en general, están poco asociadas a la disponibilidad del recurso y están regidas, más bien, por cuestiones políticas.

En el caso de los seres vivos, este supuesto también genera una limitante importante. Analicemos, por ejemplo, el caso de la pesca. Se supone que, de acuerdo a las reglas del mercado, a medida que la pesca se incrementa, los ejemplares de peces disminuyen, lo que hace que la actividad de pesca se vuelva más costosa y dificultosa, con lo que empezará a mermar el volumen ofertado y aumentará el precio. Esto disminuirá, entonces, la demanda de pescado. Como consecuencia, al disminuir la pesca, los peces se reproducirán más hasta recuperar su “stock” inicial y se reiniciará el ciclo. Sin embargo, desde una perspectiva biológica, el hecho de que la pesca no extinga a las especies de peces, no garantiza que los animales que sobrevivan tengan un pool genético lo suficientemente variado como para hacer frente (adaptarse) a los disturbios del ambiente (ver Capítulo 6).

Asimismo, tampoco se puede predecir qué efectos tendría esta disminución en el número de peces sobre los otros seres vivos que se interrelacionan con ellos.

Por otra parte, tal como lo señala Foladori (2001), dentro del estricto campo de la economía, los animales podrían ser efectivamente extinguidos a pesar del aumento paulatino de los costos de su extracción, si existiese suficiente poder adquisitivo y demanda por su captura.

Anexo 3.2: La economía neoclásica: o el reinvento de la *máquina del movimiento perpetuo*

Hace muchos siglos, en la Edad Media, cuando se comenzó a tratar de entender las leyes de la naturaleza, aparecieron muchos intentos para desarrollar una máquina que pudiera lograr el movimiento perpetuo (*Perpetuum mobile*). Es decir, que, una vez puesta en marcha, lograra mantenerse en movimiento indefinidamente sin necesidad de agregarle energía, ya que ésta se obtendría del propio movimiento de la maquinaria.

La capacidad humana de inventiva mostró su potencial y un sinfín de máquinas, a cuál más ingeniosa, se desarrollaron y probaron con el fin de conseguir el tan anhelado movimiento perpetuo. Pero, aunque en la teoría o en el diseño, parecían funcionar perfectamente, una tras otra fallaron, se detuvieron y ninguna lo logró. ¿Qué es lo que se los impedía? ¿Qué extraordinaria fuerza estaba poniendo una barrera inexpugnable al funcionamiento de estas máquinas tan ingeniosas? En definitiva, las leyes de la termodinámica destruyeron uno a uno todos los intentos y demostraron que son inexpugnables. Y así lo comprendieron todos (¿todos?) los hombres de ciencia: no se puede crear energía de la nada (primera ley) y no se puede usar la energía de manera 100% eficiente (segunda ley).

Las leyes físicas, hasta nuevo aviso, son justamente eso: leyes y como tales se cumplen inexorablemente. O, al menos, eso es lo que parecía hasta ahora. En los últimos tiempos, un grupo de científicos de una de las disciplinas con mayor fuerza en la actualidad ha conseguido lo que parecía imposible: vencer la 2ª ley de la termodinámica. Efectivamente, los economistas han encontrado un atajo desconocido, una puerta secreta que nunca antes se había revelado a nadie, para vencerla. La máquina del movimiento perpetuo existe, funciona y se llama economía neoclásica; una vez que se pone en movimiento no necesita energía del exterior, es un circuito cerrado que se automantiene. Más aún, no es admirada y defendida sólo por un grupo marginal de economistas, sino por una gran mayoría y está en constante expansión. Presidentes, gobernantes, estadistas de todo el mundo han aceptado la idea y han comprado la máquina que exhiben orgullosos en sus países. Mírenla, ¿no es preciosa? ¡Fíjense cómo funciona, como se mueve! Y esto será eternamente.

Pero, ¿Cómo ha sucedido este milagro? ¿Cómo han logrado los economistas demostrar las falacias que encierra esta famosa 2ª ley de la termodinámica? Pues, simplemente no lo han hecho. Tal como Alejandro Magno cortó de un golpe el famoso “nudo gordiano” que no había podido ser desatado por nadie anteriormente, los economistas han cortado por lo sano y han ignorado simplemente la 2ª Ley. Era tan simple como eso. Sin embargo, la 2ª ley de la termodinámica no deja de existir porque haya sido ignorada. Y tal como ocurrió con aquellos optimistas inventores de las máquinas de movimiento perpetuo, sus hermosos diseños se harán pedazos cuando intenten funcionar basados en un principio erróneo. Pero, a diferencia de aquellas ingeniosas máquinas, que sólo duraban algunos minutos antes de detenerse inexorablemente, la maquinaria que se ha puesto en movimiento es tan compleja y grande, tiene tanta inercia que, aunque ya se comienzan a escuchar algunos chirridos y roces de sus piezas, tardará aún bastante tiempo en detenerse. Pero lo que se detendrá entonces será, nada más y nada menos que el bienestar de la humanidad. Y quizá con graves consecuencias que no será posible remediar en el corto plazo.

¿Cómo es posible entonces esta ceguera? ¿Cómo es posible que los economistas, que viven en un universo regido por las leyes de la física, hayan inventado un mundo ajeno a estas leyes?

Simplemente porque consideran que la economía está por fuera de estas leyes. La ley del mercado ha resultado ser más fuerte que las leyes de la termodinámica..... Al menos por ahora.

El capital de formación humana como limitante del crecimiento económico

En la época de surgimiento de la economía neoclásica, el subsistema económico era relativamente reducido respecto de las dimensiones de la biosfera, es decir que, como afirma Goodland (1997), la economía surge en un mundo “vacío”, abundante en recursos naturales y con una alta capacidad para absorber residuos. Esto permitió considerar al ambiente como un bien no económico de libre disposición y al “capital de formación humana” como el factor limitante para el crecimiento económico. Por lo tanto, la posibilidad de aumentar la producción agropecuaria no estaba limitada, por ejemplo, por la cantidad de tierra con capacidad productiva (que era suficientemente abundante) sino por la cantidad de herramientas disponibles para efectuar las labores.

Bajo esta visión, el crecimiento se basó en la acumulación de capital de formación humana. Como producto del crecimiento de la economía, el sistema económico comenzó a adquirir cada vez mayores proporciones con respecto al ecosistema global, alcanzando o sobrepasando importantes límites respecto a los recursos y a la capacidad de recibir residuos.

Los recursos naturales se transforman entonces en el factor limitante del crecimiento económico: ya tenemos suficientes tractores, lo que no tenemos es suficiente suelo con capacidad productiva y, por más que sigamos acumulando tractores, no podremos resolver el problema.

Sin embargo, este problema no es percibido claramente por los economistas neoclásicos, que siguen sosteniendo los paradigmas ideados para la economía de un mundo vacío.

La sustitución perfecta entre factores de producción

La idea de que, tanto los recursos naturales como el trabajo, son *perfectamente sustituibles* por capital hecho por el hombre, permitió centrar al universo económico en el ámbito del valor, haciendo abstracción del mundo físico (Naredo, 1992).

Sin embargo, hoy por hoy, uno de los supuestos más cuestionados de la doctrina neoclásica es el de la sustitución perfecta entre bienes.

Es cierto que algunos recursos pueden ser sustituidos por otros, por ejemplo, puede sustituirse madera por ladrillos para la construcción de un galpón de empaque. Pero cabe preguntarse ¿Es posible sustituir los recursos naturales con más trabajo o más capital? Volviendo al ejemplo del galpón, debemos pensar que nunca podremos construirlo con la mitad de la madera o de los ladrillos necesarios, por más que tengamos muchos más carpinteros o albañiles y más herramientas para su construcción. En este caso, se pone en evidencia el hecho de que el capital de formación humana y los recursos naturales, en lugar de ser sustitutivos, son complementarios (necesitamos de ambos para lograr la construcción del galpón y por más que uno esté en abundancia, si el otro es escaso no podremos lograr nuestro objetivo).

Si asumimos que los factores son complementarios y no sustitutivos, es evidente que llegado un cierto punto de acumulación de capital humano, el factor limitante será el capital natural que nos quede. Por ejemplo, como señala Daly (1997), el factor limitante de las capturas pesqueras será la capacidad de reproducción de las poblaciones de peces y no el número de buques pesqueros, o la limitante para la producción de madera será la tasa de reproducción de los bosques y no la cantidad de aserraderos.

Concepción restringida de capital

El concepto de capital para los economistas neoclásicos puede ser definido como el conjunto de bienes que tiene capacidad de producir más productos y satisfacción en el futuro y la cantidad de dinero total.

Desde una visión económica convencional, no hay duda de que, para que la economía de una empresa, región o país se desarrolle (o al menos subsista) el capital debe ser resguardado. Así, cualquiera que haga uso de sus ahorros o su capital para resolver sus necesidades inmediatas, está condenándose a un futuro de insustentabilidad. Por ejemplo, si hoy vendemos todo nuestro rodeo de animales, tendremos mucho dinero disponible y la percepción de que somos

“más ricos”. Sin embargo, al no tener más animales, nuestra actividad se convierte en inviable en el futuro: no tendremos más ingreso y entonces somos en realidad “más pobres”.

Esta visión, si bien es cierta, desde el punto de vista de la sustentabilidad es incompleta.

El capital físico, de acuerdo a la 1^{era} Ley de la Termodinámica, no surge de la nada. Las economías, en todas sus escalas, dependen de los factores ambientales para su sostenibilidad. Todos los procesos productivos humanos están alimentados por lo que hoy es llamado “*capital natural*”.

El capital natural es definido como el conjunto de activos de la naturaleza que producen un flujo de bienes y servicios útiles para el ser humano (Daly, 1997). Es decir, que este concepto no incluye sólo a los recursos naturales sino que comprende también los servicios ambientales que todos asumimos como garantizados (i.e. ciclos bióticos y de materiales, las funciones de absorción y dilución de contaminantes, así como el flujo constante de energía que recibe nuestro planeta, entre otros).

Teniendo en cuenta esta definición, es evidente que, tal como lo señala Gudynas (2000), la acumulación de capital de origen humano exige siempre cierto nivel de apropiación del capital natural. Sin embargo, la economía neoclásica hizo abstracción de este capital natural dejándolo fuera de la toma de decisiones y permitió, de esta manera, la generación de un crecimiento económico gastándonos nuestros ahorros de capital natural. Todos creímos que éramos más ricos cuando, en realidad, nos estábamos empobreciendo en capital natural.

Por lo tanto, si se pretende lograr la sustentabilidad de los sistemas en el tiempo, el capital natural, al igual que el capital de formación humana, debe ser resguardado para no condenarnos a un futuro de inviabilidad.

Conservando el capital: ¿sustentabilidad débil o sustentabilidad fuerte?

No cabe duda de que el mantenimiento del capital natural es un requisito

básico para el logro de la sustentabilidad.

Sin embargo, este requisito puede ser interpretado de maneras diversas. Estas diferentes interpretaciones han conducido, en el plano económico, a dos corrientes diferentes en la concepción del desarrollo sostenible: la de la **sustentabilidad débil** y la de la **sustentabilidad fuerte** (Cabeza Gutiérrez, 1995; Harte, 1995; Gudynas, 2000).

La corriente de **sustentabilidad débil** propone como objetivo para alcanzar la sustentabilidad el mantenimiento del "stock" total de capital (es decir, que la suma de capital de formación humana y capital natural debe ser constante). Considera entonces la naturaleza como una forma de capital, que puede ser sustituido (tomando el principio de sustitución de capitales de la economía neoclásica) por capital de formación humana (Pearce & Atkinson, 1993).

La idea de **sustentabilidad fuerte**, por el contrario, considera al capital natural como proveedor de algunas funciones que no pueden ser sustituidas por capital hecho por el hombre. El capital natural cumple con otras funciones económicas y ambientales como ser soporte de vida, más que ser simplemente una provisión de insumos para el proceso de producción. El capital manufacturado, en cambio, no cumple con estas funciones.

Bajo esta corriente, el objetivo mismo del desarrollo sustentable es el mantenimiento del capital natural. La sustitución del capital manufacturado por capital natural está limitada al grado en el cual el aumento en capital manufacturado requiere capital natural.

Asimismo, la idea de sustentabilidad fuerte identifica diferencias sustantivas en la calidad de ambos capitales, y establece objetivos diferentes para cada uno de ellos.

En este sentido la CEPAL (1991) señala que "la sustentabilidad del desarrollo requiere un equilibrio dinámico entre todas las formas de capital que participan en el esfuerzo del desarrollo social de los países, de tal modo que la tasa de uso resultante no exceda su propia tasa de reproducción, habida cuenta de las relaciones de sustitución o complementariedad existente entre ellas".

Poniendo precio al capital natural: la economía del medio ambiente

El capital natural, a pesar de estar constituido por insumos indispensables para el proceso productivo, se compone de bienes de característica no económica.

En la medida que algunos recursos naturales empiezan a escasear y presentan agotamientos previsibles el medio ambiente empieza a adquirir “status” de bien económico (es decir, de bien escaso).

Ante esta realidad, la propia escuela neoclásica, tuvo que reconocer sus propias limitaciones con respecto al tratamiento del medio ambiente y pasó a incorporar al mismo como objeto de estudio. Así, en la década del '70, la economía del medio ambiente (o economía ambiental) se constituye como una nueva disciplina que se ocupa de la valoración del ambiente en términos monetarios y de la incorporación del mismo al mercado.

Para lograr este objetivo el procedimiento utilizado es el de internalización de las externalidades negativas o positivas (entendiendo por tales a los efectos involuntarios en el bienestar de las personas o empresas provocados por las actividades económicas) adjudicándoles un precio. Es decir, que la propuesta es asignar un precio a, por ejemplo, la contaminación por pesticidas o fertilizantes en el agua de bebida, a la pérdida de biodiversidad, deterioro de la capacidad productiva del suelo producida por un uso inadecuado del mismo, o de un bello paisaje.

La economía del medio ambiente trata de “economizar la ecología” incorporando el medio ambiente a la economía poniéndole un precio.

De esta manera, los bienes y servicios ambientales adquieren características de bienes económicos ya que pasan a tener un precio o un derecho de propiedad por lo que podrán ser gestionados como cualquier recurso económico escaso.

La búsqueda del “verdadero” valor para los bienes y servicios ambientales: Metodologías para la valoración del ambiente

Según la teoría neoclásica, el valor de un bien es subjetivo y depende de la utilidad que le otorgan los consumidores de acuerdo a sus preferencias individuales. Esta utilidad es lo que motiva a los consumidores a estar “dispuestos a pagar” para obtener dicho bien. La “disposición a pagar” para obtener, usar y mantener un bien puede servir, entonces para valorar los bienes ambientales. El valor del bien es obtenido a través de respuestas a preguntas de diferente tipo, de acuerdo al método utilizado. Por ejemplo ¿Cuánto pagaríamos para proteger un bosque contra un incendio? ¿Cuánto pagaríamos para viajar, entrar, permanecer, y disfrutar de un Parque Nacional?

Por otra parte, como hemos visto, la teoría neoclásica asume el principio de sustituibilidad de los bienes, de manera que un bien natural podría ser sustituido por otro bien de producción humana. Bajo este principio, es probable otorgar valor a los bienes ambientales en función de la “disposición a recibir” de los individuos, es decir, de la cantidad de dinero que los mismos estarían dispuestos a obtener para dejar de poseer dicho bien y sustituirlo por otro. En este caso, el valor del bien es obtenido a través de respuestas a preguntas del tipo: ¿Cuánto más salario debemos pagarle a un trabajador rural para que acepte realizar un trabajo que implica un daño a su salud? ¿Cuánto para soportar los desagradables olores provenientes de un sistema de producción intensiva de carne (“feed lot”)? Aunque relativamente sencillos, estos métodos deben ser utilizados e interpretados con mucho cuidado. La disposición a pagar es una actitud subjetiva y está relacionada con el supuesto valor que el afectado está dispuesto a concederle al bien que se quiere conservar. Este valor depende mucho del grado de información que se tenga sobre el mismo y su rol funcional. No es lo mismo aplicar este método para “valorar” un bello paisaje, fácilmente percibido como valioso por todos, que para decidir el mantenimiento de un ecosistema de alta biodiversidad, como un humedal, que puede tener poco valor estético pero un altísimo valor biológico por su rol funcional. Entender este rol funcional requiere un conocimiento que no todos pueden poseer.

La “disposición a pagar” y la “disposición a recibir” son algunos de los métodos de valoración del medio ambiente (Tabla 3.1).

Método	Principio de valoración	Ejemplos de uso
Costo de reposición (también llamado de recuperación)	Se asigna un precio al bien ambiental a través de los gastos necesarios para restablecerlo.	Pérdida de fertilidad del suelo Saneamiento de aguas contaminadas
Costo del viaje	Se asigna un precio por la suma de los costos que los visitantes están dispuestos a pagar para disfrutar de cierto espacio ambiental.	Parques y reservas ecológicas
Precio hedónico (también llamado precio implícito)	El precio del bien ambiental se asigna a través de las diferencias de precios entre un bien que posee cualidades ambientales positivas o negativas en relación con otro bien semejante que no posee dicha característica	Casa con lindo paisaje (tiene un valor ambiental superior a una similar en una zona sin dicho paisaje) Trabajos que causan daños a la salud (incorporan un valor negativo a través del mayor salario que deben pagar a sus trabajadores)
Costos preventivos	El precio del bien se calcula por el costo de protección de degradaciones previsibles.	Costos de prevención de incendios en bosques
Precio líquido	El precio del bien se calcula a través del precio de mercado menos su costo de extracción	Bosque en pie Área deforestada
Cambio de productividad	El precio de una cualidad ambiental se obtiene por diferencia de la producción física de recursos con y sin dicha cualidad ambiental.	Erosión del suelo
Valoración contingente	Se utilizan encuestas para obtener una valoración de los bienes ambientales en función de la disposición de los individuos a pagar para tener un bien o la disposición a recibir para dejar de tener dicho bien	Preservación de un bosque. Sustitución de un parque por un “shopping”

Tabla 3.1: *Métodos de valoración del medio ambiente (Chang, 2001 modificado)*

La economía ambiental en acción: ¿Cuánto vale el ambiente?

La utilización de los distintos métodos de valoración señalados, ha permitido a numerosos autores estimar el precio de distintos bienes ambientales bajo diferentes escalas de análisis. Así, por ejemplo, Costanza *et al.*, (1997) ha estimado el valor económico promedio de la totalidad de la biosfera (poniendo valor a bienes y servicios “libres” tales como agua, aire,

polinización de cultivos, peces, control de la contaminación) en 33 billones (1×10^{12}) de dólares anuales. Este valor representó casi el doble de la sumatoria del producto bruto nacional de todos los países del mundo, estimada en 18 billones de dólares.

Gudynas (2000) ha mostrado, sobre la base de resultados obtenidos por el Banco Mundial en 1997, la estimación del capital natural de un grupo de países latinoamericanos (Tabla 3.2.). Estos valores representaron entre 1,26 y 14,13 veces el PBI per cápita de cada uno de los países considerados.

País	Capital natural total	Pasturas	Cultivos	Recursos bosque maderable	Recursos bosque no maderables	Áreas protegidas	Subsuelo	PBI per cápita (año 2000)	Capital natural total/ PBI per cápita
Argentina	9850	3270	5200	280	480	100	520	7778	1,26
Bolivia	6060	690	2520	160	1820	240	640	1088	5,57
Brasil	7060	1070	2740	1200	960	190	910	3362	2,09
Chile	14440	1100	4910	1560	180	1110	5580	4727	1,29
Colombia	6100	1160	2490	390	410	270	1380	1919	3,18
Ecuador	11330	1160	4880	440	270	2610	1970	6046	1,87
Perú	4630	350	2770	220	800	50	430	1953	2,37
Uruguay	14810	6040	8530	160	60	10	-----	1048	14,13
Venezuela	20820	860	3130	40	570	1270	14960	5039	4,13

Tabla 3.2: Estimaciones de capital natural en dólares per cápita para algunos países latinoamericanos y su relación con el PBI sobre la base de datos publicados por Gudynas (2000)

Por su parte, Pretty *et al.* (2000) calcularon el costo de las externalidades negativas generadas por la agricultura del Reino Unido en 2343 millones de libras esterlinas (con un rango variable entre 1149 y 3907 millones). Este valor representó el 89% del ingreso neto de la agricultura del Reino Unido. En el mismo sentido, Tegtmeier & Duffy (2004) estimaron que los costos de las externalidades provocados por la agricultura en EEUU oscilan entre 5,7 a 16 mil millones de dólares.

En nuestro país, Flores & Sarandón (2003) calcularon que, después de 30 años, el costo de la pérdida de ciertos nutrientes (N, P y K) producido por la incorporación de agricultura continua en la Región Pampeana fue de trece mil millones de pesos (\$62, \$23 y \$49 por hectárea y por año para soja, trigo y

maíz, respectivamente). Estos valores, que subestimaban en realidad el verdadero costo oculto, representaron el 21%, 20% y 19% de los márgenes brutos promedio de los cultivos citados. Por su parte Zazo *et al.* (2011) estimaron que la pérdida de materia orgánica y nutrientes, en el período 1990-2010 en el Partido de Arrecifes, alcanzó un valor de 286.383.247 US\$, de los cuales, el 87%, puede ser atribuido al cultivo de soja.

En todos los ejemplos puede observarse que el valor del ambiente tiene un peso muy elevado cuando se lo compara con los valores de los indicadores económicos convencionales.

Alcances y limitaciones de la valoración del ambiente

En los ejemplos anteriores puede observarse que la valoración del ambiente es una herramienta útil para poner en evidencia los costos ambientales que oculta el enfoque convencional y, por lo tanto, la sobrestimación de los beneficios de las diferentes alternativas productivas. Hace visible lo invisible, y ese es su gran mérito. Así, la valoración del ambiente puede modificar las decisiones productivas dado que aquellas alternativas que producen un menor deterioro del ambiente pueden convertirse ahora en más beneficiosas en términos económicos que aquellas que tienen una alta agresividad con el medio. Un ejemplo de ello se analiza en el trabajo de Zazo *et al.* (2011) (tabla 3,3). En la región de Arrecifes, la superficie sembrada con soja creció en forma muy importante en los últimos 20 años, desplazando al maíz, debido a que, de acuerdo al margen bruto clásico, la soja era más rentable (466 U\$/ha contra 393 U\$/ha del maíz). La decisión fue, entonces, sembrar soja (en Argentina hay 20 millones de hectáreas de soja). Sin embargo, si incorporamos al margen bruto los costos ocultos de reposición del deterioro del suelo ocasionado por la pérdida de nutrientes y carbono del suelo debido al modelo de cultivo de soja, entonces el cultivo de maíz resulta más rentable que el de soja (283 U\$/ha para el maíz vs. 242 U\$/ha para la soja).

	Soja	Maíz	Trigo
Márgen bruto	466	393	295
Costo ecológico			
Reposición de C y nutrientes	224	110	113
% del Margen Bruto	48,93	28,37	38,33
Nuevo margen bruto	242	283	182

Tabla 3.3: Costo ecológico (U\$/ha) de carbono y nutrientes en Arrecifes, Argentina, 1987-2010 (Zazo, et al., 2011)

A pesar de su utilidad para hacer “visible lo invisible”, los modelos de valoración de bienes ambientales son severamente cuestionados por numerosos autores (Naredo, 1992; Sagoff, 1997; Funtowicz *et al.*, 1999; Gudynas, 2000) dado que se considera que los mismos no fomentan el logro de una mejor calidad del medio ambiente ya que muchas veces las externalidades son inciertas y, por lo tanto, no se les puede asignar precios correctos (Funtowicz *et al.*, 1999) ¿Cómo determinar el valor de un gen que se ha extinguido? ¿Cómo determinar el valor de una especie determinada de “maleza”?

Por otra parte, tal como lo señala Gudynas (2000) “no todos los elementos naturales alcanzan un precio; otros, a pesar de ser valorados, poseen precios que están asociados sólo a una de sus partes (el precio de árbol medido por su madera pero no por sus raíces y sus hojas). Igualmente, no está claro si se pueden sumar en forma simple los diferentes valores para cada uno de los elementos del ambiente. Tampoco puede olvidarse que asignar el mismo precio a un jaguar y a un pino termina promoviendo la ilusión de que ambos “valen” lo mismo”.

Asimismo, se puede caer en la idea absurda de imponer una compensación económica ante daños ambientales, sin tener en cuenta que muchos de ellos son irreversibles (por ejemplo, por más que se logre otorgar un valor en dinero a una especie o a un gen extinguido no habrá forma de restituirlos a través del dinero).

Por otra parte, este nuevo esquema económico, que está basado sólo en

el precio, puede generar inequidad, sobre todo con relación a las futuras generaciones ya que éstas no tienen posibilidad de expresar sus preferencias a través de los precios de mercado.

Si en realidad quiere alcanzarse la sustentabilidad de los sistemas es necesario comprender que ningún indicador simple (como el precio) puede ser una herramienta de evaluación en sistemas caracterizados por un alto número de componentes, una alta variedad y una elevada complejidad (Funtowicz *et al.*, 1999), como son los sistemas agropecuarios. Se necesita, por lo tanto, de un enfoque superador.

Una nueva visión de la economía: la economía ecológica

La crítica ecológica de la ciencia económica empezó hace más de cien años. Sin embargo, la economía ecológica como disciplina nace recién a fines de los '80 como una reacción a las tendencias económicas dominantes que habían descuidado a la ecología y permitido la aparición de innumerables problemas ecológicos y sociales.

Existen numerosas definiciones de Economía Ecológica. Una de las más difundidas es la de Costanza (1991) que la considera como la ciencia de la gestión de la sustentabilidad. Con un mayor grado de simpleza se podría definir como la disciplina que se esfuerza por construir un puente para unir la ecología y la economía.

La economía ecológica pretende “ecologizar la economía” introduciendo la economía dentro de las leyes y restricciones del mundo natural.

Es por eso que la economía ecológica ve a la economía humana inmersa en un ecosistema más amplio, estudiando las condiciones para que la economía encaje dentro de los ecosistemas. La economía ecológica supera el enfoque económico de la gestión de lo útil y escaso, para considerar toda la biosfera y los recursos que pueden, a la vez, ser escasos y útiles (sea hoy o en el futuro) (Pengue, 1999).

Por ello que construye su teoría basándose en la crítica de los supuestos asumidos por la economía neoclásica. Las bases teóricas así construidas pueden ser reducidas a dos enunciados principales (Foladori, 2001).

El *primer enunciado* se basa en concebir al sistema económico como un proceso abierto dentro de un ecosistema mayor, la biosfera (Figura 3.1.B), regulado por las leyes de la termodinámica. Considera que los ecosistemas no son sólo proveedores de recursos para la actividad económica, sino que cumplen una serie de funciones indispensables para la supervivencia del ser humano y sus actividades sociales (regulación climática, mantenimiento de la biodiversidad, almacenamiento y reciclaje de materia orgánica y nutrientes, beneficios estéticos, culturales, etc.).

El *segundo enunciado* expresa el carácter no renovable de varios recursos naturales y funciones ecosistémicas. La economía ecológica admite que el ecosistema Tierra es cerrado en materiales pero abierto en energía solar (Foladori, 2001). Esto implica que el crecimiento estará frenado por razones físicas y no económicas. Es decir, no puede haber un crecimiento ilimitado en un mundo finito.

Por otra parte, la economía ecológica también incorpora en su base teórica el punto de vista social haciendo de la discusión de la equidad, la distribución, la ética y los procesos culturales un elemento central para la comprensión del problema de la sustentabilidad (Pengue, 1999).

La economía ecológica es, entonces, una visión sistémica y transdisciplinaria que trasciende el actual paradigma económico proporcionando un nuevo enfoque teórico que permite un acercamiento al logro conjunto de los objetivos económicos, ecológicos y sociales de la sustentabilidad.

Es evidente que esta nueva visión de la ciencia económica no puede servirse de las herramientas metodológicas diseñadas por la economía convencional sino que necesita diseñar metodologías propias que permitan la “valoración” de la sustentabilidad de sistemas caracterizados, a diferencia de los sistemas económicos convencionales, por una alta complejidad y múltiples dimensiones (económica, ecológica, social y temporal).

Metodologías económico–ecológicas para la evaluación de la sustentabilidad: análisis multicriterio e indicadores biofísicos de sustentabilidad

A diferencia de los que sucede con la economía convencional y la economía del medio ambiente, que trabajan con una sola dimensión valorativa (el precio), la economía ecológica asume que no existe una sola medida de valor para todos los aspectos o bienes a evaluar y, mucho menos, que mediante una sola medida sea posible llegar a una única clasificación de valor de las distintas opciones existentes (Martínez Alier, 1995)

Pluralidad de valores: A diferencia de la economía neoclásica, la economía ecológica entiende que no existe una sola medida de valor (el precio) para todos los aspectos a evaluar.

Es decir, la economía ecológica asume que los objetos y situaciones ambientales están caracterizados por una pluralidad de valores y, por lo tanto, trabaja sobre la base de la comparabilidad débil de valores. Veamos un ejemplo: un determinado lugar puede ser evaluado bajo descripciones distintas (como hábitat, como paisaje, por su capacidad productiva, su biodiversidad, etc.). Para cada una de estas evaluaciones hay que recurrir a distintos puntos de vista y a distintas escalas de valor de acuerdo a qué perspectiva se quiere evaluar. Esto conduce a que haya evaluaciones conflictivas de ese mismo lugar, ya que éste puede tener un valor considerable como hábitat, un valor medio como paisaje y poco valor en cuanto a su capacidad productiva. Es decir, que nunca podremos obtener una única respuesta a la pregunta “¿Cuánto vale este lugar?”, ya que la respuesta será mucho, poco o nada, según para qué y para quién. Del mismo modo, cuando comparamos varias alternativas y pretendemos responder a la pregunta “¿Cuál de todas es la mejor?” La respuesta será: depende del objetivo que queramos satisfacer.

Este criterio de comparabilidad débil de valores es la base de sustentación de una de las principales herramientas metodológicas de la economía ecológica: la evaluación multicriterio.

El *análisis multicriterio* busca establecer los indicadores que señalan la satisfacción de cada objetivo planteado y considerar el éxito relativo con que dichos objetivos son alcanzados para cada alternativa de decisión (Longo & Tomasini, 1996). A través de estas metodologías se realiza un análisis de la realidad teniendo en cuenta varios objetivos a la vez, de manera de encontrar alternativas satisfactorias desde distintos puntos de vista. El resultado no es una única respuesta, sino varias posibilidades ponderadas de acuerdo a los criterios prevalecientes en la sociedad o en quienes tienen que tomar decisiones (Evia & Sarandón, 2002). Estos autores aplicaron este método en la región de la laguna Merín, Uruguay, en un área de producción de arroz que presenta, al mismo tiempo, un rico entramado de ecosistemas, dominado por humedales asociados a praderas y bosques nativos, que albergan una diversa flora y fauna. El desafío era decidir entre varias opciones de uso del territorio. Se utilizó el método multicriterio para decidir cuál de las diferentes opciones de uso era la mejor. Se compararon criterios productivistas, conservacionistas-ecológicos y sociales, buscando una solución que permitiera compatibilizar estos objetivos. Según el peso de la dimensión o criterio elegido era la opción de uso de la tierra más adecuada. El método permitió así, resolver una compleja situación y ayudar a la toma de decisiones en forma más racional.

Sin embargo, algunas veces, la economía ecológica utiliza herramientas físicas para la evaluación de la sustentabilidad y, en estos casos, trabaja con criterios de comparabilidad fuerte de valores. A estas herramientas físicas se las denomina indicadores biofísicos de sustentabilidad. Los mismos han sido desarrollados para juzgar el impacto de la economía humana sobre el ambiente (Tabla 3.4).

Estos indicadores son utilizados para comparar la presión ecológica que ejercen las economías de las distintas regiones del mundo y se han convertido en la base de discusión de temas de creciente actualidad, como es, por ejemplo, la cuestión de la deuda ecológica de los países desarrollados para con los países en desarrollo.

Indicador	Definición del indicador
Huella ecológica	Área de territorio ecológicamente productivo (cultivos, pastos, bosques o ecosistemas acuáticos) necesaria para producir los recursos utilizados y para asimilar los residuos producidos por una población dada con un modo de vida específico de forma indefinida. Unidad: Hectáreas por persona.
HANPP (human appropriation of net primary production ó apropiación humana de la productividad primaria neta)	Apropiación por los seres humanos del producto neto primario de la fotosíntesis expresada en términos porcentuales. Área de territorio ecológicamente productivo necesaria para producir los recursos utilizados y para asimilar los residuos producidos por una población dada con un modo de vida específico de forma indefinida. Es un indicador sobre el tamaño relativo del subsistema humano, en relación con el ecosistema total. Indica la presión humana sobre el medio ambiente, cuanto más elevado es el HANPP menor es la biomasa disponible para las especies "silvestres". Ejemplo: 80% de la fotosíntesis neta apropiada por el ser humano.
MIPS (material input /provided services)	Mide físicamente (ton) los "inputs" usados en los servicios ofrecidos por la economía. Relaciona el consumo de recursos naturales (directo o indirecto) de un producto, durante su proceso de producción y de vida, con los servicios que entrega este producto (por sector y para el total de la economía).
Material intensity of consumption o intensidad material de consumo	Mide el consumo de energía exosomática (no necesaria para el mantenimiento de las funciones vitales del ser humano: endosomática) como un parámetro del impacto del ser humano sobre los ecosistemas. Ej. USA: 320 GJ por persona por año. Endosomática: 3,7 GJ/persona/año (FAO, 2000).
EROI (energy return on (energy) input)	Mide la eficiencia energética de los sistemas económicos considerando que para que una economía sea sustentable la productividad energética del trabajo humano debe ser mayor al gasto energético que implica ese trabajo.
Mochila ecológica	Da una idea de la cantidad de materiales utilizados en la elaboración de un producto a lo largo de todo su ciclo de vida. "Desde la cuna hasta la tumba". Es el "costo oculto" en materiales para obtener este producto. Ej. Una computadora requiere utilizar 1500 Kg. de producto.
Huella de carbono	Es «la totalidad de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento o producto. Es el aporte al calentamiento global. Se mide en masa de CO ₂ equivalente.
Huella hídrica o agua virtual.	La huella hídrica es un indicador de uso de agua que tiene en cuenta tanto el uso directo como indirecto por parte de un consumidor o productor. La huella hídrica de un individuo, comunidad o comercio se define como el volumen total de agua dulce que se utiliza para producir los bienes y servicios consumidos por el individuo o comunidad así como los producidos por los comercios. Ej.: 1200 litros de agua/Kg. de trigo.

Tabla 3.4: Indicadores biofísicos de sustentabilidad

Conclusiones

La percepción de incompatibilidad entre el logro de los objetivos ecológicos y económicos de la sustentabilidad se debe a las propias limitaciones del enfoque económico neoclásico que impide la consideración del capital natural dentro de los cálculos económicos.

Por lo tanto, si se asume que la sustentabilidad agrícola es un objetivo incuestionable, es necesario modificar la forma de entender la economía. En este sentido, la economía ecológica, que introduce la economía dentro de las leyes y restricciones del mundo natural, aún con sus limitaciones, se convierte en la ciencia apropiada para la gestión de la sustentabilidad.

Preguntas para el repaso y la reflexión

1. *¿Qué es el análisis costo-beneficio y en qué corriente económica lo ubica?*
2. *Explicar con un ejemplo de su zona, cómo el análisis costo-beneficio no tiene en cuenta todos los costos generados por las actividades productivas. ¿Cómo se denominan dichos costos?*
3. *Según su opinión, ¿cuáles son los principales supuestos asumidos por la economía neoclásica? ¿Por qué? Cite ejemplos de producciones que contradigan dichos supuestos.*
4. *¿Cuál de las dos corrientes de la sustentabilidad, fuerte y débil, cree que es coherente con el enfoque de la Agroecología? Justifique*
5. *¿Cuál es la importancia de considerar las leyes de la termodinámica en un análisis económico que tenga por fin la sustentabilidad?*
6. *¿Por qué considera usted que los economistas tienen una visión de la economía que deja por fuera los bienes materiales?*
7. *¿Qué significado tienen las frases “ecologizar la economía” y “economizar la ecología”?*
8. *¿En qué enfoque de la sustentabilidad ubica a los supuestos económicos alternativos? ¿Por qué?*
9. *¿Qué críticas le haría a la economía del medio ambiente? ¿A qué se refiere la frase “internalizar las externalidades”?*
10. *¿Cuáles son, a su criterio, las principales dificultades a las que se enfrenta la escuela de la Economía Ecológica a la hora de hacer efectivas sus propuestas?*

Bibliografía citada

- Cabeza Gutiérrez M (1996) The concept of weak sustainability *Ecological Economics* 17: 147-156.
- CEPAL (1991) El desarrollo sustentable: transformación productiva, equidad y medio ambiente. CEPAL, Santiago de Chile. 146 pp.
- Chang MY (2001) La economía ambiental. En Pierri N & G Foladori (Eds) (2001) ¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el Desarrollo Sustentable. Trabajo y Capital. Imprenta Editorial Baltgráfica. Montevideo, Uruguay. 165-178.
- Costanza R (Ed) (1991) *Ecological economics: The science and Management of sustainability*. New York: Columbia University press. 525 pp.
- Costanza R, R d'Arge, R de Groot, S Farber, M Grasso, B Hannon, K Limburg, S Naeem, RV O'Neil, J Paruelo, RG Raskin, P Sutton & M van den Belt (1997) The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.
- Daly HE (1997) De la economía del mundo vacío a la economía del mundo lleno. En: Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible: Más allá del informe Brundtland, R Goodland, H Daly, S El Serafy y B von Droste (Eds.) Editorial Trotta, Madrid: 37-50.
- Evia G & SJ Sarandón (2002) Aplicación del método multicriterio para valorar la sustentabilidad de diferentes alternativas productivas en los humedales de la Laguna Merín, Uruguay. En: AGROECOLOGIA: El camino hacia una agricultura sustentable, SJ Sarandón (Editor), Ediciones Científicas Americanas, La Plata. 22: 431-448.
- FAO (2000) The Energy and Agriculture Nexus. Environment and Natural Resources Working Paper No. 4, FAO, Rome, 84pp.
- Flores CC & SJ Sarandón (2003) ¿Racionalidad económica versus sustentabilidad ecológica? El análisis económico convencional y el costo oculto de la pérdida de fertilidad del suelo durante el proceso de Agricultura en la Región Pampeana Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*: 105 (1): 52-67.
- Flores CC & SJ Sarandón (2008) ¿Pueden los cambios tecnológicos basados en el análisis costo-beneficio cumplir con las metas de la sustentabilidad? Análisis de un caso de la Región de Tres Arroyos. Argentina. *Revista Brasileira de Agroecología*. 3 (3): 55-66.
- Foladori (2001) La Economía Ecológica. En Pierri N & G Foladori (Eds) ¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el Desarrollo Sustentable. Trabajo y Capital. Imprenta Editorial Baltgráfica. Montevideo, Uruguay. 189-196.
- Fontanetto H & O Keller (2003) Consumo y manejo de nutrientes de las rotaciones de cultivos. 11avo Congreso de AAPRESID. Rosario.
- Funtowicz SO, JM Martínez Alier, G Munda & JR Ravetz (1999) Information tools for environmental policy under conditions of complexity. Environmental issues series No 9. European Environment Agency. Copenhagen. 34 pp.
- Goodland R (1997) La tesis de que el mundo está en sus límites. En: Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible: Más allá del informe Brundtland, R Goodland, H Daly, S El Serafy y B von Droste (Eds.) Editorial Trotta, Madrid: 19-36.
- Gudynas E (2000) Los límites de la sustentabilidad débil y el tránsito desde el capital natural al patrimonio ecológico. *Educación, Participación y Ambiente, MARN, Caracas*, 4 (11): 7-11.
- Harte MJ (1995) Ecology, sustainability and environment as capital. *Ecological Economics* 15: 157-164.
- Longo de Tomasini L & H Tomasini (1996) Uso de un modelo multicriterio para valorar el mejor

- manejo económico y ecológico de la Tierra agrícola. *Revista Argentina de Economía Agraria*: 3-11.
- Martinez Alier JM (1995) *De la economía ecológica al ecologismo popular*. Editorial Nordan – Comunidad. Montevideo, Uruguay. 286 pp.
- Naredo JM (1992) *Fundamentos de Economía Ecológica*. IV Congreso Nacional de Economía, Desarrollo y Medio Ambiente. Sevilla. España: 12-92
- Pearce D & G Atkinson (1993) Capital theory and measurements of sustainable development: an indicator of “weak” sustainability. *Ecological Economics* 8(2): 103-108
- Pengue W (1999) *Economía Ecológica: Un largo camino posible*. UBA, Grupo de Ecología del paisaje y Medio Ambiente-GEPAMA-CEA. Charla-Debate, Buenos Aires, 23 de noviembre de 1999.
- Pretty JN, C Brett, D Gee, RE Hine, CF Mason, JIL Morison, H Raven, MD Rayment & G van der Bijl (2000) An assessment of the total external cost of UK agriculture. *Agricultural Systems* 65:113-136
- Sagoff M (1997) Can we put price on nature’s service? Institute Philosophy Public Policies, University Maryland, Disponible en <http://www.puaf.umd.edu/ncsamem1.html>. Último acceso: agosto de 2002
- Tegtmeier EM & M Duffy (2004) External Costs of Agricultural Production in the United States. *International Journal of Agricultural Sustainability* 2 (1):1-17.
- Yurjevic A (1993) Marco conceptual para definir un desarrollo de base humano y ecológico. *Agroecología y Desarrollo* 5-6:2-15.
- Zazo F, CC Flores & SJ Sarandón (2011) El costo oculto del deterioro del suelo durante el proceso de sojización en el Partido de Arrecifes, Argentina. *Revista Brasileira de Agroecología*. 6 (3).

Parte 2

ASPECTOS BÁSICOS DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS AGROECOSISTEMAS

CAPÍTULO 4

EL AGROECOSISTEMA: UN ECOSISTEMA MODIFICADO

Santiago J. Sarandón

Introducción

A pesar de la poca importancia que se le ha dado al estudio del funcionamiento de los ecosistemas en la formación de los profesionales de la agronomía (Sarandón, 2011), el objetivo de los agrónomos no es otro que el de “intervenir”, es decir, modificar los ecosistemas para que éstos produzcan ciertos bienes (y servicios) económicos en lugar de los que naturalmente producirían sin la intervención humana. La comprensión de la complejidad de los agroecosistemas, sugiere que un enfoque simplista, reduccionista y fraccionado de la realidad (ver Capítulo 1), no es adecuado para un manejo sustentable, que incluye propósitos económicos, socioculturales, ecológicos y temporales (ver Capítulo 2) de los agroecosistemas.

El cambio hacia una visión sistémica es, entonces, fundamental e implica que los agroecosistemas deben visualizarse como sistemas (conjunto de componentes interrelacionados de determinada manera para cumplir un fin) ecológicos asociados a variables socioeconómicas, que tienen por fin la producción de bienes y servicios de importancia económica. Por otro lado, el abordaje holístico o generalista implica reconocer que el todo es más que la suma de las partes. Como señalan Lugo & Morris (1982) “es imposible interpretar el comportamiento de un sistema dado sólo basándose en estudios sobre el comportamiento de sus partes”. Esto quiere decir que no es posible entender cómo funciona un agroecosistema, un sistema agropecuario, (primer paso para saber si debemos sugerir un cambio o no) basándonos en el estudio detallado de algunos componentes, como el suelo (propiedades físicas, químicas, biológicas), la vegetación (por medio de censos, recuentos, medidas como biomasa, etc.), las enfermedades, las plagas, las malezas, el estado de los cultivos, los animales, etc., y luego “juntar” toda esta información.

Imaginémonos que pudiésemos contratar a los mejores especialistas de cada una de estas disciplinas o áreas de conocimiento y nos entregasen un informe completo y detallado de su estudio. El análisis de esta información (si pudiera hacerse), no necesariamente nos va a dar una idea clara del funcionamiento del sistema. Por ello, para abordar el desafío que implica el manejo sustentable de los agroecosistemas, es esencial aplicar un enfoque holístico. En este sentido, no se trata de aprender a “hablar” sobre lo que es un enfoque holístico, sino de utilizar este enfoque como un potente instrumento de abordaje.

Este conocimiento es necesario, entonces, para un manejo que compatibilice la obtención de un flujo de bienes y servicios, que satisfagan las necesidades de esta generación sin comprometer la capacidad productiva de los recursos para las futuras generaciones.

El objetivo de este Capítulo es señalar la importancia de aplicar el análisis de sistemas para el manejo de los agroecosistemas, resaltando las diferencias y similitudes de los principales procesos en ecosistemas naturales y agroecosistemas, y el impacto que las distintas prácticas agrícolas tienen sobre ellos.

El enfoque de sistemas

La idea de aplicar el enfoque de sistemas no es nueva ni exclusiva de las ciencias agropecuarias ni de la Agroecología. Como señala Hart (1985a), la historia del concepto de sistemas es probablemente tan vieja como el ser humano mismo, pues siempre ha existido la necesidad de entender fenómenos complejos.

La Teoría General de Sistemas fue desarrollada por Von Bertalanfly en 1968. En la actualidad, el reconocimiento de la complejidad de los fenómenos que el ser humano debe comprender (y la imposibilidad del enfoque reduccionista para lograrlo), ha renovado el interés por el concepto de Sistemas, que hoy se usa como herramienta de trabajo en muchas ciencias. Como señala Toledo (1994): “...*toda producción rural finalmente implica una apropiación de ecosistemas, es decir, de totalidades o ensamblajes físico-*

biológicos dotados de un equilibrio dinámico, y que las especies o los materiales o las energías usufructuadas durante dicha apropiación no son simples elementos de aquello”.

Un sistema puede ser entendido como un “arreglo de componentes físicos, un conjunto o colección de cosas, unidas o relacionadas de tal manera que forman y actúan como una unidad, una entidad o un todo” (Becht, 1974).

Las propiedades de un sistema no dependen sólo de sus componentes, sino de la interrelación existente entre ellos. Así como el funcionamiento de un reloj no está determinado sólo por la suma de todas sus piezas sino, además, por la forma en que éstas están relacionadas o ensambladas, (ya que si pierden su relación, éste no funciona), el funcionamiento de un sistema ecológico, no está definido sólo por la suma de sus componentes, sino por la forma en que éstos se interrelacionan lo que le da sus propiedades particulares. Y, en el caso de un agroecosistema, lo que le confiere sus características productivas.

Es fundamental entender que las propiedades de un sistema no dependen sólo de sus componentes, sino de la interrelación existente entre ellos.

En un sistema pueden reconocerse: componentes, interacciones entre ellos, entradas, salidas y límites.

Componentes de los sistemas

Los componentes de un sistema pueden ser muy variados, según se trate de sistemas biológicos, mecánicos, o de cualquier otro tipo. Pueden encontrarse sistemas compuestos de muchos componentes y otros de muy pocos. Por ejemplo, los agroecosistemas son sistemas muy complejos con componentes biológicos que han sido distribuidos en el tiempo y el espacio, interactuando con componentes socioculturales (objetivos, racionalidades, conocimientos y cultura de los agricultores).

Los componentes biológicos de los ecosistemas y agroecosistemas pueden dividirse, según su función en productores, consumidores y detritívoros o descomponedores. En cualquier agroecosistema, o sistema agropecuario, vamos a encontrar algunos o a todos éstos (cultivados o silvestres).

Los productores (*autótrofos*) son aquellos componentes que tienen la particularidad, mediante el proceso de la fotosíntesis, de transformar y acumular energía lumínica en forma de energía química. Las plantas verdes son los productores por excelencia: cultivos, vegetación espontánea, árboles, arbustos, etc. Estos componentes son la base de todos los otros y de la vida sobre la tierra. Cualquier ecosistema depende, directamente o indirectamente, de la capacidad de las plantas para fijar carbono por medio de la fotosíntesis.

Los consumidores (*heterótrofos*) se ubican en un nivel trófico superior y necesitan a los productores para subsistir ya que, por su incapacidad de transformar la energía luminosa, deben alimentarse de los componentes que sí lo hacen. Los consumidores comprenden a todos los animales, tanto domesticados (vacas, cerdos, ovejas, aves, etc.) como silvestres (aves, liebres, insectos, etc.) A los que se alimentan de vegetales, se los denomina consumidores primarios y los que se alimentan de animales se denominan consumidores secundarios, como el caso de las fieras, aves rapaces, predadores de insectos, parásitos animales, etc.

Los detritívoros o descomponedores (*heterótrofos*), son también consumidores, pero se alimentan de tejido muerto de las plantas o cadáveres o deyecciones animales, e intervienen en el reciclado de la materia orgánica y los nutrientes. Aquí se encuentran varios grupos como los artrópodos y numerosos microorganismos, micro, meso y macrofauna, fundamentales en estos procesos.

Límites y niveles jerárquicos

Definiendo los límites

Reconocer o definir los límites del sistema en estudio es un paso fundamental para aplicar el enfoque de sistemas. Lo primero que debemos

hacer es “recortar, es decir, identificar el sistema de nuestro interés. Para eso, debemos delimitarlo, fijar sus límites; éstos no son fijos y dependen de nuestro objetivo o interés.

La definición de los límites resulta indispensable para evaluar las salidas y entradas desde y hacia el sistema. Si los límites no son precisos, no pueden percibirse entradas ni salidas, o pueden confundirse con salidas lo que no son más que flujos internos. Este concepto tiene especial importancia para el manejo de agroecosistemas ya que, por definición, su objetivo es producir un flujo constante de materiales (bienes y servicios) fuera del mismo, pero al mismo tiempo evitar o minimizar las salidas no deseadas: contaminantes, suelos por erosión y nutrientes por lixiviación o volatilización, entre otros. Muchas veces, la incapacidad para aplicar el enfoque de sistemas ha llevado a varios errores conceptuales sobre el funcionamiento de los mismos o a minimizar o no percibir salidas que pueden causar importantes problemas (ver Capítulo 8).

Es importante tener en cuenta que los límites del sistema no son sólo bidimensionales, sino tridimensionales. Es decir, que lo que se escapa por debajo y/o hacia la atmósfera también debe ser tenido en cuenta. Por ejemplo, en un cultivo de trigo, el límite inferior estará dado por la profundidad de exploración de las raíces. Todo lo que se encuentre por debajo, no está accesible o disponible para el trigo. Un nutriente que está a mayor profundidad que la capacidad de exploración de las raíces del trigo, está fuera de nuestro sistema. La incorporación de árboles al mismo incrementaría sus límites inferiores y superiores, ampliando entonces la cantidad de recursos disponibles.

Niveles jerárquicos

Otro aspecto a tener en cuenta es el nivel jerárquico, es decir, la relación que se establece entre diferentes sistemas. Un sistema puede ser un subsistema de un sistema de mayor jerarquía y, a su vez, contener varios subsistemas, y así sucesivamente. El análisis puede realizarse a nivel de país,

de cuenca, de región, de fincas, de parcelas o de plantas ¿Cuál es el nivel de jerarquía que debemos tener en cuenta? Esto depende de nuestro objetivo, pero Hart (1985b) propone que, para cualquier estudio deben tenerse en cuenta, por lo menos, tres niveles jerárquicos: el sistema de interés (por ejemplo la finca a estudiar) el que está por encima, que lo contiene, (en este caso podría ser la región), y los sistemas que están dentro del sistema de interés. Imaginemos que nos interesa entender cómo funciona un sistema agropecuario, una finca, para decidir si es sustentable o no, y sugerir entonces los cambios necesarios. Esta finca está situada en algún lugar, en alguna región, que le da sus particularidades. Muchas veces, lo que sucede en la finca y su importancia depende de ese contexto. Por ejemplo, no es lo mismo una finca productora de frutilla o arándanos, en una región típicamente productora de estos cultivos, que en una en una región donde nadie más realiza esa producción. Esto puede implicar una enorme diferencia en el acceso a información, asesoramiento, insumos, mercados, posibilidad de venta de la producción, acceso a mano de obra calificada, etc. Por otro lado, todo lo que sale de nuestro sistema, va a parar a su entorno: ¿es una región de lluvias, con ríos, arroyos, con mucha pendiente, hay peligro de contaminación de aguas? ¿Hay poblaciones vulnerables cercanas? Muchas de estas cuestiones requieren entender el entorno, el supra sistema que engloba nuestro sistema.

Finalmente, nos interesa qué hay dentro de nuestro sistema, dentro de la finca, sus subsistemas: lotes de cultivos, animales, plantas silvestres, insectos, etc.

Estructura de los sistemas

Los sistemas tienen, además, una estructura que les permite cumplir con su función. La estructura de un sistema puede ser muy simple o compleja y depende de: número y tipo de componentes y del arreglo entre estos componentes. Un ecosistema puede tener numerosos componentes, (por ejemplo una selva tropical donde coexisten muchas especies), o puede tener pocos componentes, (por ejemplo sistema de monocultivo de trigo. El arreglo o relación entre los componentes puede ser de varios tipos: competitivo, cuando

utilizan los mismos recursos; cíclico, cuando forman parte de un ciclo biogeoquímico; o trófico, cuando uno sirve de alimento a otro.

Para poder comprender todas estas características el enfoque de sistemas resulta muy útil, aunque su construcción e interpretación requieren de algunas consideraciones básicas.

En general, para el estudio de un agroecosistema deben tenerse en cuenta, por lo menos 3 niveles jerárquicos: el sistema en estudio, el que está por encima o lo contiene y los subsistemas o componentes del mismo.

Cómo emplear y entender el enfoque de sistemas en los Agroecosistemas

Entender el funcionamiento de un agroecosistema, por ejemplo de una finca, es esencial para poder diagnosticar si se están alcanzando o no los objetivos de la sustentabilidad y/o comprender los problemas que el diseño y manejo elegido tienen. Recordemos que cualquier sistema de producción agropecuario, no es más que un diseño (entre varios posibles) de distribución en el tiempo y el espacio de una serie de componentes vegetales y animales con un objetivo. Muchas veces, los problemas se presentan porque el diseño no es adecuado para el objetivo buscado.

El enfoque de sistemas es una herramienta apropiada para entender esto, porque nos permite generar un modelo simplificado de la realidad, para saber cómo está funcionando. Este esquema o modelo, si está bien construido, nos va a brindar información valiosa para comprender los límites, los componentes, sus relaciones, y las entradas y salidas (deseadas o no). Veamos un ejemplo: como una primera aproximación, podríamos construir un sencillo esquema (Figura 4.1.A.) donde definamos los límites, las salidas y entradas. Todavía no nos interesa, (o no podemos) establecer lo que hay dentro de este sistema: lo tomamos entonces como una “caja negra”, como podríamos entender una computadora. Aunque no entendemos aún los procesos internos, podemos

identificar entradas y salidas. Esto ya es un paso importante porque varias de estas salidas pueden ser no deseadas y causar problemas (ver Capítulo 1).

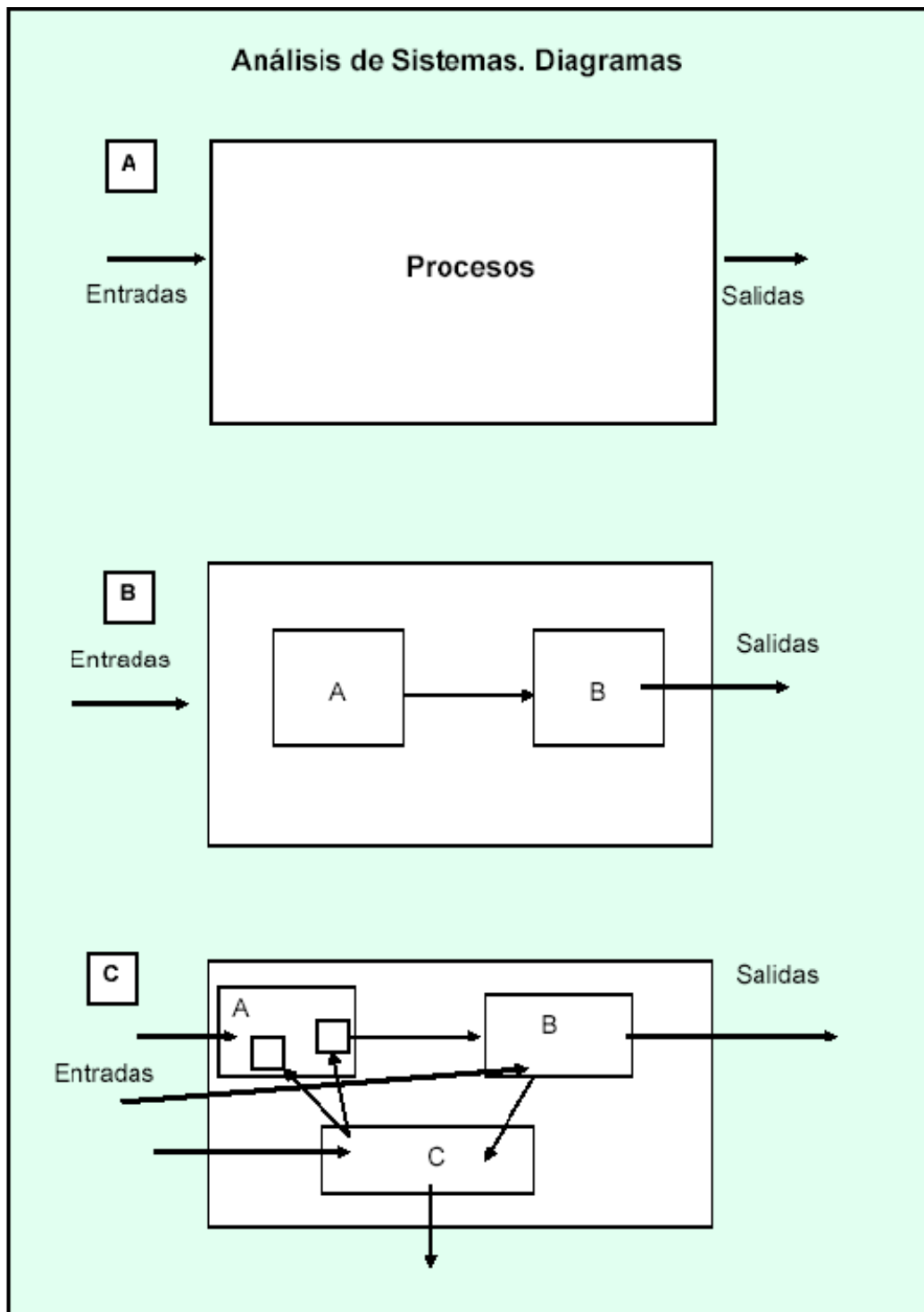


Figura 4.1: Diagrama representando 3 diferentes formas de esquematzar un sistema agropecuario

Es importante entender que lo que pretendemos es representar la realidad y no lo que deseamos que ocurra. Es decir, debemos poder definir todas las entradas y salidas del sistema, más allá de que sean deseadas o no. Por ejemplo, en un sistema de producción de maíz, que utiliza fertilizantes para la nutrición y pesticidas para controlar las plagas, la salida será el maíz (nuestro objetivo), pero, además, saldrán residuos de plaguicidas y de fertilizantes que irán a parar al agua o al aire, según su composición química y forma de aplicación. Estas salidas pueden constituir un problema significativo y es importante percibirlos claramente.

Mediante el enfoque de sistemas, pretendemos entender lo que ocurre en la realidad y no lo que queremos que ocurra.

No representamos nuestros objetivos, sino la realidad. Y a veces no coinciden

El diagrama A, aunque sencillo, brinda poca información sobre lo que ocurre dentro del sistema: sus procesos y componentes. Si queremos profundizar nuestro entendimiento, entonces debemos agregar un poco más de información sobre los procesos internos del sistema.

En la Figura 4.1.B. representamos ahora dos componentes del sistema, que llamamos A y B y establecemos, con una flecha, el sentido o flujo de materia y energía desde A hacia B. Desde B identificamos también una salida de materia y energía del sistema. Este flujo de A hacia B puede ser, por ejemplo, la transferencia de materia desde una pastura (productor) hacia un animal (consumidor: ganado) que se alimenta de ésta y luego nosotros vendemos y extraemos del sistema. Por ejemplo un sistema de engorde de ganado (invernada).

Lamentablemente, los sistemas reales son un poco más complejos. Veamos la Figura 4.1.C. Aquí representamos 3 componentes: A, B, C. Se observa que ahora las entradas se han descompuesto en 3 flechas hacia los componentes A, B y C. Además, el componente A tiene 2 subcomponentes, de uno de los cuales sale un flujo de materia hacia B. De este componente B hay

dos flechas: una salida del sistema y un flujo hacia un tercer componente C, del cual se observa un flujo hacia A (ambos subcomponentes) y una salida del sistema.

Esto puede representar en forma más detallada un sistema de producción animal, donde A es el componente vegetal constituido por dos subsistemas: una pastura implantada y un componente vegetal silvestre: malezas no apetecidas por el ganado. Del componente cultivado sale un flujo de materia (forraje) hacia el componente B (ganado). Del ganado sale un flujo, una parte (deyecciones: bosta y orina), va hacia el componente C: suelo, y otra sale del sistema como carne. En el componente C (suelo) se observa un flujo de nutrientes hacia el componente A (vegetales), que se divide en los dos subcomponentes. Esto puede indicar, (si el recurso es escaso) una competencia entre estos dos componentes del sistema A. Del componente C sale, además, una flecha fuera del sistema lo que indicaría pérdidas de nutrientes o suelo por lixiviación, escorrentía o erosión.

Las entradas se han dividido en los 3 compartimientos o componentes, para brindar mejor información. Por ejemplo, hacia el componente A pueden entrar semillas, pesticidas (insecticidas y herbicidas), parte de estos van también hacia el suelo junto con los fertilizantes. El componente B requiere productos veterinarios, que no entrarían al sistema si este componente no existiera. Este tipo de diagrama ya nos da mejor información y nos permite ver si estamos consiguiendo el objetivo deseado. Se observa la salida de carne que es el objetivo buscado, pero también nos permite ver las consecuencias del diseño y el manejo elegido. En este caso, las salidas indeseadas, como los nutrientes del suelo (del componente C), junto con los residuos de los pesticidas aplicados. A su vez, detectamos que hay ingresos que son económicamente costosos como los pesticidas y los fertilizantes que, tal vez, podríamos reemplazar por algún proceso natural si nos interesara.

¿Cuál es el nivel de detalle que debemos buscar? Hemos visto que un diagrama demasiado simple es inadecuado porque, aunque sencillo de construir, brinda poca información. Por el contrario, un diagrama demasiado complicado, donde intentemos “meter” toda la realidad, todas las variables,

tampoco es adecuado porque pierde claridad y, por lo tanto, utilidad. Lo importante es que el esquema o diagrama construido sea útil. No debemos olvidar que simplemente es un elemento de diagnóstico para ayudarnos a entender la compleja realidad de los agroecosistemas.

Procesos de los sistemas

El número, el tipo y la disposición espacial y temporal de los componentes de un sistema, definen o establecen la ocurrencia de una serie de procesos que determinan el resultado final del mismo. Tanto en los sistemas naturales como en los agroecosistemas pueden reconocerse 5 procesos básicos (Lugo & Morris, 1982):

1. Fotosíntesis
2. Respiración
3. Flujo de nutrientes: ciclos biogeoquímicos
4. Sucesión
5. Procesos internos de regulación (ciclos reproductivos, fases fenológicas, asignación de recursos)

Fotosíntesis y respiración, producción primaria

La fotosíntesis es la función primordial de los ecosistemas. Es la que permite, a través de una propiedad única de la clorofila, transformar la energía luminosa en energía química (hidratos de carbono), que luego es utilizada por las propias plantas o consumida por los animales. Este proceso es fundamental en cualquier ecosistema, y sobre todo en los agroecosistemas. El producto de la fotosíntesis se denomina Producción Primaria Bruta (PPB) y es todo lo que las plantas fijan a través de este proceso. Sin embargo, no toda esta energía fijada se utiliza para el crecimiento del ecosistema, parte la usan para su respiración y parte para su crecimiento o acumulación de materia seca.

El otro proceso esencial que ocurre en los ecosistemas naturales o agrícolas es la respiración. Este proceso consume lo acumulado por el proceso de fotosíntesis para obtener energía para otros procesos vitales. La diferencia entre la fotosíntesis y lo consumido por la respiración de las plantas se denomina Producción Primaria Neta (PPN) y es lo que determina si el estrato de los productores acumula materia o no. Por otra parte, la Productividad Neta de la Comunidad (PNC) es la energía fijada luego de restarle la respiración de las propias plantas y del resto de heterótrofos (consumidores) de la comunidad; insectos, microorganismos, etc.

Fotosíntesis, biomasa y productividad

*La energía fijada por unidad de área es la denominada **Fotosíntesis bruta**. Parte de esta energía se utiliza para los procesos metabólicos de las plantas mediante el fenómeno de la Respiración (**R**), de sentido contrario a la fotosíntesis. El resto es la **Fotosíntesis Neta** que es lo que se utiliza para crecer, exportar, cosechar o para alimento de los heterótrofos.*

Productividad primaria Bruta (PPB): es la cantidad total de energía fijada por unidad de área en un tiempo dado.

Productividad primaria Neta (PPN): $PPB - R$: es la energía fijada por unidad de área en un tiempo dado, luego de restarle la respiración de los autótrofos **Ra** (las mismas plantas)

Productividad Neta de la Comunidad (PNC): $PPN - R$: es la energía fijada luego de restarle la respiración de las propias plantas (**Ra**) y del resto de heterótrofos (consumidores) de la comunidad; insectos, microorganismos, etc. Es la razón de ser de los agroecosistemas, lo que permite la exportación de productos: granos, frutas, tubérculos, forraje, leche, huevos, carne, etc.

La **PNC** es lo que determina si el ecosistema acumula materia o no y puede ser mayor, igual o menor a 0 (cero). El primer caso es típico de los agroecosistemas, la fotosíntesis es mayor que la respiración total; se acumula materia seca. Es su principal objetivo: la producción de un excedente para consumir o para vender y exportar a otros ecosistemas. Por ejemplo, sembramos 100 Kg/ha de trigo y cosechamos 5.000 Kg/ha además del rastrojo (la paja).

La situación donde la productividad neta de la comunidad es igual a cero ($PNC = 0$) se da en algunos ecosistemas naturales maduros (que han llegado a

su clímax ecológico). Esto no quiere decir que tengan poca biomasa (a veces, incluso ésta es máxima), sino que la respiración (de sus componentes autótrofos y heterótrofos) es igual a la fotosíntesis y que por lo tanto, el sistema se mantiene con pocas variaciones en su cantidad de materia. Esto ocurre porque existen muchas estructuras que no realizan fotosíntesis pero que respiran, como las raíces, o troncos de los árboles, y muchos componentes no autótrofos que consumen lo producido pero que son esenciales para mantener las funciones del sistema. Es decir, se “gasta”, o se invierte, en el automantenimiento del sistema. Si pudiésemos pesar una selva con todos sus componentes veríamos que pesa aproximadamente lo mismo durante mucho tiempo: no crece ni se consume.

No debe confundirse biomasa con productividad. La biomasa presente en un sistema, en un momento dado, puede ser producto de muchos años de acumulación. La productividad es la cantidad acumulada en una unidad de tiempo y por unidad de área. Lugo & Morris (1982) señalan al respecto, que la biomasa *per se* no es una medida que indique la magnitud de la productividad de un sistema. Por ejemplo, en un bosque de eucaliptos de varios años, la biomasa puede ser mucho mayor que en un cultivo de maíz, sin dudas, pero se ha conseguido a través de varios años de producción. La productividad, en cambio, puede no ser muy alta e incluso variar a lo largo del tiempo. No es lo mismo en etapas tempranas de su desarrollo, que en las etapas finales.

Los sistemas agrícolas optimizan la productividad neta de la comunidad, los ecosistemas naturales la productividad primaria bruta, la biomasa y la eficiencia en el uso de la Energía.

Por otro lado, los sistemas típicos donde la respiración es mayor a la fotosíntesis y que, por lo tanto, tienen una producción neta menor que cero ($PNC < 0$) son las ciudades, que por esa razón necesitan de la existencia de los agroecosistemas para producir un excedente para su sustento. Otro ejemplo son los sistemas de producción de pollos industriales, sistema de engorde a corral (“feed lot”), o sistemas de producción de hongos, donde la energía que consumen los animales (granos, alimento balanceado) o que se

utiliza como sustrato de los hongos (paja), es importada del excedente de producción de otros sistemas, que son subsidiarios de éste.

Ciclos biogeoquímicos

Los ciclos biogeoquímicos son un proceso fundamental en los ecosistemas, tanto naturales como agrícolas, impulsados por la energía que atraviesa el sistema. Son transformaciones químicas que los materiales van sufriendo, a través de su paso por el suelo, el agua y el aire con intervención de componentes biológicos, en muchos casos microorganismos, que resultan fundamentales en estos procesos. Así las bacterias celulolíticas, nitrificadoras, etc., tiene un importante rol en la descomposición de la materia orgánica y su puesta a disposición para las plantas en forma de nutrientes. Algunos ciclos importantes para los agroecosistemas son el ciclo del C, del N y el del P (ver Capítulo 8).

Cualquier nutriente, sólo está disponible parcialmente y en un determinado momento. Por ello, hay que establecer la diferencia entre el contenido total y el disponible, que es el que sirve para ser apropiado por los componentes biológicos del sistema. Es decir, un sistema puede tener un gran contenido de algún nutriente, como el fósforo, pero poco de éste estar disponible en un momento dado. La tasa o velocidad con que se hacen disponibles, tiene que ver con los ciclos biogeoquímicos. A su vez, el lugar o los componentes donde se almacenan los nutrientes, son diferentes en distintos tipos de ecosistemas. Así en un bosque tropical, gran parte de los nutrientes se almacenan en el tejido vegetal. Por el contrario, en los sistemas templados de praderas, con suelos profundos, la mayor parte de los nutrientes se encuentran en el suelo.

Sucesión

Los ecosistemas no son estáticos, cambian en el tiempo y tienden a su desarrollo. Este fenómeno es conocido como sucesión o desarrollo del ecosistema, y distingue claramente a los sistemas que tienen componentes

biológicos de los que son fundamentalmente físicos (Odum, 1998). Todos los ecosistemas, tanto naturales como agrícolas, tienen una tendencia hacia un cambio dinámico en el tiempo, que es consecuencia de fuerzas que irrumpen desde el exterior y de procesos de desarrollo generados dentro del sistema (Figura 4.2). El término sucesión describe los cambios estructurales y funcionales que experimenta un ecosistema en el transcurso del tiempo (ver Capítulo 6).

La sucesión es un proceso ordenado y, por lo tanto, previsible, que se da en todo ecosistema, incluso en los agroecosistemas. Culmina con el establecimiento de un ecosistema estable.

La etapa final de un ecosistema se conoce como clímax y su composición o comunidad final depende de las características agroclimáticas de la zona, geografía, clima, etc. Una de las características de esta etapa climácica es que son sistemas estables, o más o menos estables, en los cuales, teóricamente, se alcanza la máxima biomasa por unidad de energía (Odum, 1998). Las etapas de desarrollo se conocen como etapas serales y tienen mucho que ver con los sistemas agrícolas, ya que son las etapas permanentes de los agroecosistemas. El ser humano modifica la tendencia natural del ecosistema hacia la complejidad manteniéndolo permanentemente en etapas juveniles altamente productivas, mediante subsidios energéticos.

Los Agroecosistemas son ecosistemas mantenidos, a través de subsidios energéticos, en etapas tempranas de la sucesión para obtener altos niveles de productividad.

Procesos internos de regulación

Se conoce con este nombre a una serie de procesos internos que ocurren en los ecosistemas naturales o agroecosistemas y que tienen que ver con los ciclos reproductivos, fases fenológicas y la partición o asignación de los recursos. Los ciclos reproductivos hacen referencia a la forma característica en

que los diferentes componentes del sistema se reproducen a sí mismos. Por su parte, las fases fenológicas hacen referencia a los diferentes estadios en el desarrollo de los seres vivos, desde su nacimiento hasta su muerte. La partición o asignación de recursos es la manera en que la energía fijada como materia se distribuye entre los diferentes órganos de los componentes del sistema, en el caso de los vegetales: raíces, tallos, hojas, frutos, bulbos, estructuras defensivas, etc. El índice de cosecha (relación grano u órgano cosechable/ parte aérea de un cultivo) es uno de los indicadores de partición más conocidos.

Todas estas propiedades les dan sus características a los ecosistemas y determinan la eficiencia con que realizan sus funciones, lo que se analizará cuando se compare el comportamiento de los sistemas.

Atributos o propiedades de los sistemas

Los sistemas pueden evaluarse de acuerdo a la forma en que cumplen sus funciones. Algunos atributos o propiedades que pueden resultar interesantes de ser evaluados en los Agroecosistemas son: la productividad, la eficiencia, la resiliencia y la estabilidad.

La **productividad**: Es uno de los atributos más importantes desde el punto de vista agronómico. Se refiere a la producción de biomasa total (forraje) o de algún órgano en particular (grano, tubérculo) por unidad de superficie en un período determinado de tiempo. Una medida muy usada de productividad es el rendimiento de los cultivos, tal vez porque, durante mucho tiempo, la disponibilidad de tierra era la principal limitante para la producción. Para la Agroecología interesan, además, otros atributos que pueden ser tan o más importantes que el rendimiento.

Uno de ellos es la **eficiencia** de los procesos, es decir, la relación entre insumos que ingresan y los que salen. Esto puede referirse a la energía, nutrientes, o agua, entre otros. Un sistema puede ser altamente productivo (alta productividad) pero poco eficiente porque esta productividad requiere un alto ingreso de algún insumo, como en el caso de algunos sistemas modernos de producción de alimentos. En la actualidad, además del rendimiento, debe

tenerse en cuenta la eficiencia con que se usan otros 3 insumos imprescindibles para la producción agropecuaria y escasos (y lo serán aún más en el futuro). Éstos son: el rendimiento por unidad de nutriente (especialmente el fósforo), por unidad de agua y/o por unidad de energía.

La **estabilidad** es un atributo importante del sistema, y se refiere a la capacidad de resistencia a los cambios. Está relacionado también con otro atributo, la resiliencia, que es la capacidad de recuperarse luego de sufrir algún disturbio. Un sistema puede ser altamente productivo pero muy inestable o frágil. La capacidad de **resiliencia** (recuperación) de los Agroecosistemas ha adquirido fundamental importancia en los últimos años debido a la conciencia del cambio y variación climática y a la vulnerabilidad que esto implica para muchos agroecosistemas (Nicholls & Altieri, 2013).

Tanto la estabilidad como la resiliencia incorporan el factor tiempo, por lo que son medidas que sólo pueden obtenerse luego de una serie de años. De allí su importancia para la sustentabilidad de los agroecosistemas.

El valor que le asignemos a cada una de estas propiedades del sistema dependerá de los objetivos buscados.

Agroecosistemas (AES) y ecosistemas naturales (EN). Similitudes y diferencias

Los agroecosistemas, tal como los definiera Odum (1984), son un tipo especial de ecosistema, intermedios entre los ecosistemas naturales y los ecosistemas urbanos como las ciudades, totalmente contruidos por el ser humano. Los agroecosistemas tienen, tal vez, mayor impacto en nuestras vidas que cualquier otro ecosistema, debido a que ellos nos proveen de comida y fibras y tienen grandes impactos sobre la calidad del ambiente.

Varias son las diferencias y similitudes entre los ecosistemas naturales y los agroecosistemas. El conocimiento de estas características y de la influencia que sobre ellas ejercen determinadas prácticas agrícolas es fundamental para planificar un manejo adecuado de los mismos, con el objetivo de una

producción sustentable en el tiempo. Algunas diferencias entre ecosistemas naturales y agroecosistemas se han sintetizado en la Tabla 4.1.

Atributos	Ecosistema natural	Agroecosistema
Objetivo	Ninguno	Utilitario
Responsable	Nadie	Agricultor/a
Fuente de energía	Solar (mareas)	Solar + artificial (combustibles fósiles)
Diversidad genética	Alta	Baja
Diversidad específica	Alta	Baja
Fuerza de selección	Natural (evolución)	Humana (económica)
Asignación de recursos	Equitativa (estr. competitivas)	Económica (granos)
Productividad (PNC)	Baja (nula)	Alta
Biomasa	Alta	Media
Productividad / biomasa	Baja	Alta
Ciclo de nutrientes	Cerrado (prácticamente)	Abierto
Aprovechamiento de recursos	Alta	Baja
Continuidad espacio temporal	Alta	Baja
Sincronización entre plantas y microorganismos	Alta	Baja
Lixiviación de nutrientes	Baja	Alta
Erosión	Baja	Alta
Estabilidad	Alta	Baja
Resiliencia	Alta	Baja

Tabla 4.1: Algunas similitudes y diferencias entre ecosistemas naturales y agroecosistemas (modificado de Sarandón 2002)

El objetivo

Hart (1985 a y b) define al agroecosistema como un ecosistema que cuenta, por lo menos, con una población de utilidad agrícola. Independientemente de la definición que se tome, queda en claro que, a diferencia de los ecosistemas naturales (EN), los agroecosistemas (AES) tienen un objetivo, un propósito: la producción de alimentos o fibras, y por lo tanto, un responsable del manejo; el ser humano. Este decide intervenir en la

estructura natural de un ecosistema para cambiarlo y obtener de él otros productos que considera de mayor utilidad. Para eso tiene que distribuir y manipular en el tiempo y el espacio sus componentes y entender y dirigir las interrelaciones entre ellos. Es decir, el/la productor/a y el/la profesional que lo asesora manejan ecosistemas en forma consciente o inconsciente. Pero el ser humano no actúa o vive solo, sino que vive en una comunidad y decide su grado de intervención y sus objetivos a través de complejos mecanismos de decisión que involucran sus valores, creencias y conocimientos, dentro de un contexto socioeconómico y político determinado. Como señala Mitchell (1984), la distribución de cultivos en los sistemas de producción de gran escala, están mayormente determinados por los factores económicos.

La energía en los ES y AES

El flujo de energía es uno de los procesos fundamentales en los ecosistemas. La energía emitida por el sol y recibida por las plantas (productores primarios) es la principal fuente de toda la vida en el planeta. A diferencia de la materia, la energía no se recicla, sólo circula y fluye a través de los sistemas, perdiendo capacidad de generar trabajo y aumentando, por lo tanto, la entropía. Este flujo energético unidireccional, como fenómeno universal es el resultado de la acción de las leyes o principios de la termodinámica (ver Capítulo 7). Aunque por el primer principio, la energía no se destruye, sí cambia de calidad y se degrada, perdiendo la capacidad de generar trabajo y disipándose.

La eficiencia y el tipo de energía utilizada son una de las grandes diferencias entre los ecosistemas naturales y los agroecosistemas. En un ecosistema natural la principal fuente de energía es el sol, a excepción de algunos ecosistemas donde la fuerza de las mareas tiene un rol importante como en regiones costeras. La cantidad de la energía que efectivamente llega al sistema, depende de las condiciones (latitud, altitud) del ecosistema en cuestión y de la época del año. Igualmente, sólo una pequeña fracción de la energía que llega a la atmósfera alcanza efectivamente las plantas. Sin

embargo, esta pequeña energía es suficiente para sostener todos los procesos vitales en ecosistemas tan complejos como una pluviselva tropical.

Sin embargo, en los agroecosistemas, además de la energía del sol, debemos utilizar energía de otras fuentes para sostener determinados procesos o evitar determinadas interacciones (competencia, herbivorismo de las plagas). Esto se debe a que, por definición, los agroecosistemas son ecosistemas modificados y deben contrarrestar y mantener una tendencia contracorriente a la sucesión natural (Figura 4.2). La principal preocupación es que, en la actualidad, la fuente principal de energía es fósil, derivada del petróleo. En rigor, se trata también de energía solar que, por el proceso de fotosíntesis, fue convertida a carbono hace muchos millones de años pero no pertenece al flujo actual de energía emitida por el sol y, a diferencia de ésta, es un recurso no renovable que se agotará tarde o temprano (al ritmo actual de consumo, más temprano que tarde).

En un agroecosistema, el uso de energía proveniente de otras fuentes es, a veces, importantísimo, dependiendo de la intensidad, de los sistemas de manejo y de los estilos de agricultura seleccionados. En sistemas altamente industrializados, como los cultivos en invernáculos con fertirriego, o los sistemas de cría intensiva de animales, puede ser enorme. Esta energía entra al sistema no sólo en forma de combustibles (directa), sino en forma indirecta en la energía necesaria para la fabricación de los insumos o maquinarias (plaguicidas, fertilizantes, riego, tractor, etc.).

La biodiversidad en los agroecosistemas

La diversidad, tanto específica, como genética y estructural, es otra gran diferencia entre Ecosistemas Naturales (EN) y los Agroecosistemas (AES). El manejo que el ser humano hace de los ecosistemas consiste en reemplazar una gran cantidad de especies silvestres por unas pocas o sólo una especie de utilidad agrícola. Un ejemplo de ello es la zona cerealera de la Pampa Húmeda Argentina, constituida por grandes superficies con pocos cultivos. En los

últimos años, esta baja diversidad se ha llevado al límite, con el cultivo de la soja transgénica resistente a glifosato (RR), que ya ocupa unas 20 millones de hectáreas en la Argentina. Un modelo productivo, donde casi no existen siquiera especies vegetales acompañantes (malezas), se ha convertido en un gran desierto verde.

La agricultura moderna se caracteriza por su uniformidad a nivel genético y específico (Ej. híbridos simples de maíz), a nivel parcela (toda la parcela sembrada con la misma especie, sin presencia de vegetación espontánea: malezas), a nivel finca (grandes superficies con unos pocos cultivos) y a nivel región (zonas productoras de determinados cultivos), lo que se traduce también en la uniformidad del paisaje. (Sarandón, 2002).

La biodiversidad o diversidad biológica se refiere a la variación en genes, especies, poblaciones, comunidades y ecosistemas (UNEP, 1992). La biodiversidad es importante en los agroecosistemas porque provee, además de genes, importantes servicios ecológicos, esenciales para el mantenimiento de procesos esenciales de los agroecosistemas. A pesar de ser uno de los conceptos más importantes en ecología y uno de los recursos más importantes para la agricultura, aún permanece como una idea compleja, abstracta y no completamente entendida (ver Capítulo 5).

Uno de los desafíos es identificar aquellos componentes claves de la biodiversidad en sistemas de producción agrícola, responsables del mantenimiento de los procesos naturales y ciclos, y monitorear y evaluar los efectos de las diferentes prácticas y tecnologías agrícolas sobre esos componentes (Sarandón, 2009). Los polinizadores, enemigos naturales, lombrices, y microorganismos del suelo, entre otros, son todos componentes claves de la biodiversidad que juegan importantes roles ecológicos, mediante procesos como los de introgresión genética, control natural, ciclaje de nutrientes, descomposición, entre otros (Altieri & Nicholls, 1999).

Es fundamental identificar aquellos componentes claves de la biodiversidad en sistemas de producción agrícola, responsables del mantenimiento de los procesos naturales y ciclos, y monitorear y evaluar los efectos de las diferentes prácticas y tecnologías agrícolas sobre esos componentes.

Cada agroecosistema tiene su propio potencial de diversidad que está dado por las condiciones agroclimáticas de la zona, características geográficas, etc. Pero, sin duda, uno de los factores que más influyen el grado de diversidad de los agroecosistemas es el relacionado con los objetivos y características socioculturales de los agricultores, su conocimiento y valoración de la biodiversidad (Gargoloff *et al.*, 2009, 2010, Vicente & Sarandón, 2013, Nosedá *et al.*, 2011). La diversidad cultural es, sin dudas, parte de la agrobiodiversidad (UNEP, 2000). Sólo preservando los saberes, valores, conocimientos, culturas de los agricultores, se podrán conservar la diversidad de cultivos y la diversidad asociada a estos (Sarandón, 2009). Muchas veces, el problema es la uniformidad como objetivo o ideal agronómico. Como señala Vandana Shiva (1996), muchas veces, el problema es el “monocultivo” de las mentes.

Fuerza de selección: evolución versus mejoramiento genético

Los agroecosistemas están permanentemente sometidos a una serie de fuerzas (muchas veces no percibidas claramente) que pueden tener importantes consecuencias para su manejo.

Estas fuerzas son diferentes en un EN y un AES. En los EN, la selección natural actúa permanentemente, seleccionando a los individuos mejor adaptados para sobrevivir y reproducirse, mediante el proceso de evolución (ver Capítulo 6). Por el contrario, en los AES, es el ser humano quien selecciona los componentes del sistema, privilegiando ciertas características económicamente deseables y descartando las indeseables, aunque estas

podrían, muchas veces, ser útiles o adecuadas para mejorar la capacidad de adaptación al ecosistema (Ej. la habilidad competitiva).

El resultado de esto es una gran diferencia en la partición o asignación de recursos entre EN y AES. Mientras que, en un ecosistema, la selección natural privilegia individuos que tengan una partición de recursos hacia estructuras competitivas (tallos, raíces), o defensivas (químicos, taninos, espinas, pelos, etc.), en los AES, el objetivo son sólo las estructuras económicamente útiles. El problema es que, seleccionado estas especies o creando genotipos con estas características, el ser humano debe asumir la responsabilidad por las funciones ecológicas que han sido sacrificadas, incrementando el uso de subsidios energéticos para reemplazar las habilidades perdidas (Cox, 1984).

Bajo esta concepción utilitarista, muchas veces se han descartado atributos competitivos que serían privilegiados y seleccionados en los ecosistemas naturales, basándose en el hecho de que una mayor capacidad competitiva era sólo un “gasto o desperdicio” de energía en un sistema que no iba a tener problemas de competidores. Un ejemplo claro de esto ha sido la selección y mejoramiento de los cultivos modernos de varias especies. Como se ha comprobado en algunos cultivos como el trigo, el mayor rendimiento actual no se debe a su mayor capacidad de utilizar los recursos, o una mayor capacidad fotosintética de la especie, sino a una mayor capacidad de partición de la materia seca hacia el grano (Austin *et al.*, 1980). Esto ha sido en detrimento de algunas ventajas competitivas como la altura o un buen desarrollo radicular (Siddique *et al.*, 1990). Las variedades más antiguas y altas tendrían una mayor capacidad de exploración radical que las más modernas y de menor altura. Incluso se ha señalado que algunos trigos antiguos tenían una mejor capacidad de interactuar y consociarse con las micorrizas que los cultivos modernos (Hetrick *et al.*, 1992, Zhu *et al.*, 2001).

Las plantas seleccionadas para los sistemas modernos de producción, son más productivas o potencialmente más productivas, pero requieren una mayor inversión de energía de parte del ser humano para compensar aquella que no se ha invertido en sus sistemas de supervivencia o adaptación al medio.

En un planeta donde la energía se está volviendo cada vez más escasa (y cara) esto es un problema (Anexo 4.1).

Productividad, biomasa y etapa sucesional

Otras diferencias notables entre AES y EN son las relacionadas con su productividad y biomasa, de acuerdo con su etapa sucesional. En un ecosistema natural, que ha llegado a su clímax ecológico, la productividad neta de la comunidad (PNC) es generalmente cercana a cero. Esto no quiere decir que no haya fotosíntesis bruta, (ésta incluso puede ser mayor que en un ecosistema joven), sino que ésta es similar a la respiración: todo lo ganado se “gasta” en mantener el sistema. Es por esta razón que el ser humano debe mantener sus agroecosistemas en etapas sucesionales tempranas para obtener y cosechar su productividad periódicamente.

Anexo 4.1: ¿La supervivencia de los más aptos o los más rentables?

O Selección natural versus selección comercial

A diferencia de los Ecosistemas naturales, donde las fuerzas de la selección incansablemente seleccionan los individuos más aptos, los mejores adaptados, en los Agroecosistemas, el ser humano es quien selecciona los componentes del sistema, privilegiando ciertas características económicamente deseables y descartando las indeseables, aunque éstas podrían mejorar la capacidad de adaptación al ecosistema.

Características que, casi con seguridad no habría permitido sobrevivir a las plantas en ecosistemas naturales son consideradas como deseables por la selección humana.

Pero el mantenimiento de la productividad de estos cultivos, incapaces de defenderse por sí mismos y aún a veces de auto reproducirse, tiene un alto costo.

Sin embargo, los AES, como todos los ecosistemas, tienen una tendencia hacia la complejidad y hacia la madurez. Esto es lo que cualquier agricultor percibe cuando intenta, luego de haber eliminado toda la vegetación con el arado, cultivar sólo maíz o trigo. Espontáneamente, aparecen otros componentes del sistema que no fueron sembrados y que intentan ocupar los “nichos” disponibles (ver Capítulo 9) y que compiten con nuestro cultivo (malezas). Una y otra vez se eliminan y una y otra vez reaparecen. El

mantenimiento de estos estados juveniles en los Agroecosistema para lograr una máxima productividad debe ser hecho, por lo tanto, a “contramano” de la tendencia natural, para lo que se requiere invertir energía en forma de trabajo o insumos químicos (fertilizantes y plaguicidas) (Figura 4.2.).

Mientras más diferente sea, estructuralmente, el agroecosistema de las características del sistema maduro de la zona (el bioma predominante), mayor será la cantidad de insumos que tendremos que invertir para mantenerlo en ese estado y mayores los costos ambientales que podemos ocasionar. Por ejemplo, no es lo mismo mantener una pastura polifítica en la Pampa Argentina, cuya formación climática es el pastizal, que mantener un sistema de producción de trigo en un lugar cuya formación climática es el desierto. O implantar un cultivo de soja en un ecosistema de Selva, como la de Misiones, desmonte mediante.

Mientras más “alejado” esté el Agroecosistema de las características del sistema maduro de la zona, mayor será la cantidad de insumos que tendremos que invertir para mantenerlo en ese estado. Y mayores los costos ambientales que podemos ocasionar.

En este sentido, la Agroecología propone, no la posición idílica de “volver a la naturaleza”, sino un punto de vista más racional, más complejo, que intenta manejar los agroecosistemas de manera tal de seguir obteniendo un elevado nivel de productividad (a nivel de sistema), pero compatible con la disminución de los costos de mantenimiento y los impactos ambientales no deseados.

Aprovechamiento de los recursos

En un ecosistema natural maduro, prácticamente todos los recursos (nutrientes del suelo, agua, energía, presas, etc.) son aprovechados al máximo. Como generalmente existen muchas especies, funcionalmente distintas, siempre hay algún componente del sistema, alguna especie, que tiene la capacidad de hacer uso de los recursos que se van haciendo disponibles. Por el contrario, en un agroecosistema esto es totalmente diferente: durante gran parte del año muchos recursos son desaprovechados, porque no hay

componentes para utilizarlos. Imaginemos un agroecosistema con un plantación de maíz: en el hemisferio sur, aproximadamente en el mes de septiembre u octubre se colocan, en una parcela unas 60.000 a 80.000 semillas/ha⁻¹ de individuos de un híbrido o variedad comercial, todos iguales, que recién emergerán unos 10 días después. En las primeras etapas del desarrollo del cultivo, existe, por lo tanto, una gran cantidad de recursos: agua, luz y nutrientes, que están disponibles y que no pueden ser usados por la población del cultivo hasta mucho tiempo después. Lo que naturalmente sucede es que el sistema, que (como hemos visto) ha sido llevado a una etapa juvenil y, por lo tanto, tiende a avanzar en la sucesión hasta su clímax ecológico, favorece la “aparición” de muchas especies espontáneas (malezas) que detectan y aprovechan esta gran disponibilidad de recursos. Si esto es evitado mediante su control o eliminación mecánica o química, como sucede muchas veces, gran parte de estos recursos se pierden, haciendo a los sistemas más ineficientes.

Es decir que en los agroecosistemas la utilización de los recursos es ineficiente, comparada con los EN y, por lo tanto, parte de ellos no pueden ser utilizados por el sistema. Hay un desfasaje entre los recursos disponibles y los componentes que están en condiciones de utilizarlos en un momento dado. Esto está relacionado a la existencia de disponibilidad de recursos y a la baja diversidad de especies, ya que se ha demostrado que los sistemas más diversos aprovechan mejor los recursos y tienen mayor producción que los sistemas menos diversos (Héctor *et al.*, 1999).

Continuidad espacio-temporal y sincronización de microorganismos-plantas.

En un ecosistema natural existe generalmente una continuidad espacio temporal. Si uno pudiese caminar por un ecosistema natural, un pastizal, un bosque, una selva, difícilmente percibiría contornos nítidos y definidos entre diferentes tipos de formaciones vegetales tanto espacial o temporalmente. Por el contrario, en un AES, la continuidad espacio temporal es inexistente o

bastante errática. Los componentes del sistema pueden aparecer y desaparecer de manera brusca. En una parcela donde se va a cultivar trigo, en un momento dado se colocan 300 semillas por m². Tiempo después, ya cosechado, de un día para el otro, se entierran con la rastra u otro implemento enormes cantidades de residuos (el rastrojo). A su vez, la continuidad espacial es también interrumpida en los AES. En una finca es común ver terrenos con vegetación y otros en barbecho o descanso o recién arados, separados por unos pocos metros. En un EN, esto constituye una rareza.

Como consecuencia de lo anterior, en los AES la sincronización entre microorganismos y plantas puede entonces ser muy deficiente. No hay microorganismos suficientes para hacerse cargo de descomponer la gran cantidad de materia y energía que súbitamente ingresa al subsistema suelo. Esto se traduce en una baja eficiencia de estos procesos y un retraso en los mismos. Es decir, se producen enormes cantidades de compuestos que no pueden ser procesados por los otros componentes de la cadena trófica, porque éstos no están aún en número suficiente. En el caso del N, la remoción del suelo y entierro de enormes cantidades de residuos celulósicos, provoca una explosión en el desarrollo de estos microorganismos celulolíticos que consumen todo el N disponible originando entonces lo que se conoce como “hambre de N”. Con la muerte de los mismos, este N vuelve al sistema donde puede ser aprovechado por las plantas.

La fertilización es otra práctica común en los agroecosistemas que tiene algunas consecuencias no deseadas. Generalmente, con la siembra por ejemplo de cultivos como el trigo o el maíz, es común agregar los nutrientes (generalmente el N o el P) que este cultivo va a necesitar varios meses después. Esto se hace por un motivo práctico y económico, pero tiene consecuencias ecológicas muy claras. Este fertilizante es procesado por los microorganismos del suelo y (en el caso del N) transformado en nitratos mucho antes que existan demandantes para el mismo. Por lo tanto, éste queda en la solución del suelo y, si las condiciones son desfavorables, puede ser arrastrado fuera del sistema por el agua de lluvia. La falta de sincronización entre estos procesos y las necesidades de las plantas, la existencia de recursos

disponibles y la poca capacidad de aprovechar los recursos en los agroecosistemas, junto con el hecho de la aplicación de fertilizantes, determina que el riesgo de lixiviación de nutrientes en los AES sea mayor que en los EN, donde prácticamente esto no ocurre.

A su vez, la discontinuidad espacial de los agroecosistemas y la ausencia de vegetación en algunos períodos del año (barbecho) genera graves problemas de erosión o riesgos de erosión en los agroecosistemas que son generalmente poco comunes en los EN. En los AES los ciclos son abiertos (hay una cosecha) y generan importantes pérdidas que es necesario reponer, en la medida de lo posible.

El manejo de los agroecosistemas debe buscar hacer más eficiente el uso de los recursos, tal vez mediante un aumento de la biodiversidad espacial y temporal. La presencia de ciertos niveles de vegetación espontánea dentro y fuera de las parcelas de cultivos, podría, por ejemplo, reducir la erosión, disminuir el lixiviado de nutrientes y generar un aumento en la eficiencia de la captación de la energía con lo que aumentaría la acumulación de Carbono en el sistema.

Éste es sólo uno de los ejemplos donde un mayor conocimiento de los procesos que ocurren en un agroecosistema puede ayudar a hacerlos más eficientes y conseguir mantener niveles altos de productividad con mínimas pérdidas de eficiencia y bajo impacto ambiental.

Conclusiones

En este Capítulo, se ha intentado demostrar la importancia de abordar el conocimiento de los agroecosistemas como sistemas complejos cuyas propiedades están determinadas por sus componentes y las interrelaciones entre ellos, dentro de un marco de manejo donde está el ser humano íntimamente inserto en un contexto sociocultural que determina la manera en que toma sus decisiones.

Preguntas para el repaso y la reflexión

1. *¿Qué se entiende por enfoque de sistemas y cuál es su importancia o utilidad en el abordaje de los agroecosistemas?*
2. *¿Por qué es necesario definir los límites de un agroecosistema? ¿De qué dependen los mismos?*
3. *¿Por qué es importante establecer los niveles jerárquicos? ¿Cuántos niveles deben establecerse?*
4. *¿Cuál es la relación entre Producción Primaria Bruta y Producción Primaria Neta? ¿A que se le denomina Productividad Neta de la Comunidad? ¿Qué diferencia hay entre biomasa y productividad?*
5. *¿Cuál es el efecto o consecuencia del manejo de agroecosistemas sobre el fenómeno de sucesión? ¿Qué ejemplos conoce en su zona?*
6. *¿Cuáles son las propiedades o atributos de un agroecosistema? ¿Qué particularidades tienen?*
7. *¿Cuáles son las principales diferencias entre un ecosistema natural y un agroecosistema en lo que se refiere a la diversidad?*
8. *¿Cuáles son las principales diferencias entre un ecosistema natural y un agroecosistema en lo que se refiere a productividad neta de la comunidad y aprovechamiento de los recursos?*
9. *¿Por qué se afirma que los mecanismos y objetivos económicos usados como criterio en la selección y mejoramiento de los componentes de los agroecosistemas, implican la necesidad de un gasto de energía para su mantenimiento?*

Bibliografía citada

- Altieri MA & CI Nicholls (1999) Biodiversity, ecosystem function, and insect pest management in agricultural systems. In Biodiversity in Agroecosystems, WW Collins & CO Qualset, (Eds), CRC Press: 69-84.
- Austin RB, J Bingham, RD Blackwell, LT Evans, MA Ford, CL Morgan & M Taylor (1980) Genetics improvements in winter wheat yields since 1900 and associated physiological changes. J Agric Sci 94:675-689.
- Becht G (1974) Systems theory, the key to holism and reductionism. Bioscience 24(10): 579-596.
- Cox GW (1984) The linkage of inputs to outputs in agroecosystems. In: Lowrance R, BR Stinner & GJ House (Eds) 1984. Agricultural Ecosystem: Unifying concepts. J Willey & Sons. New York:187-208.
- Gargoloff NA, MM Bonicatto & SJ Sarandón (2009) Análisis del Conocimiento y Manejo de la Agrobiodiversidad en Horticultores Capitalizados, Familiares y Orgánicos de La Plata, Argentina. Revista brasileira de Agroecología 4(2):1724-1728.
- Gargoloff NA, EA Abbona & SJ Sarandón (2010) Análisis de la Racionalidad Ecológica en agricultores hortícolas de La Plata, Argentina. Revista Brasileira de Agroecología, 5 (2): 288-302.

- Hart RD (1985a) Sistemas. En (Harte RD) Conceptos básicos sobre agroecosistemas. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 1: 9-19.
- Hart RD (1985b) Conceptos básicos sobre agroecosistemas. CATIE. Turrialba, Costa Rica. pp. 67-78.
- Hector A, B Schmid, C Beierkuhnlein, MC Caldeira, M Diemer, PG Dimitrakopoulos, JA Finn, H Freitas, PS Giller, J Good, R Harris, P Högborg, K Huss-Danell, J Joshi, A Jumpponen, C Körner, PW Leadley, M Loreau, A Minns, CPH Mulder, G O'Donovan, SJ Otway, JS Pereira, A Prinz, DJ Read, M Scherer-Lorenzen, ED Schulze, ASD Siamantziouras, EM Spehn, AC Terry, AY Troumbis, FI Woodward, S Yachi & JH Lawton (1999) Plant diversity and productivity experiments in European grasslands. *Science* (286):1123-1127.
- Hetrick BAD, GWT Wilson & TC Todd (1992) Relationships of mycorrhizal symbiosis, rooting strategy, and phenology among tallgrass prairie forbs. *Canadian Journal of Botany* 70, 1521-1528.
- Lugo AE & YGL Morris (1982) Los Sistemas ecológicos y la humanidad. Monografía N° 23. Serie de Biología OEA. 82 pp.
- Mitchell R (1984) The ecological basis for comparative primary production. In: Lowrance R, BR Stinner & GJ House (Eds) *Agricultural Ecosystem: Unifying concepts*. J Willey & Sons. New York:13-53.
- Nicholls CI & MA Altieri (2013) Agroecología y cambio climático: metodologías para evaluar la resiliencia socio-ecológica en comunidades rurales, REDAGRES, CYTED, SOCLA. *Revista Agroecología*, 8, 91 pp.
- Nosedá C, SJ Sarandón, D Magda, N Girard, G González & R Gorriti (2011) Lógica y saberes campesinos en dos localidades ubicadas en la zona Norte del Alto Paraná, Misiones, Argentina: aportes para la producción agroecológica. *Cadernos de Agroecología* 6, (2): 5pp.
- Odum EP (1984) Properties of agroecosystems. In: Lowrance R, BR Stinner & GJ House (Eds) 1984. *Agricultural Ecosystem: Unifying concepts*. J Willey & Sons. New York: 5-11.
- Odum EP (1998) Conceptos de ciclos biogeoquímicos y factores limitantes. En: *Ecología: El vínculo entre las ciencias naturales y las sociales*. Vigésima reimpresión, Compañía Editorial Continental, México: 115-149.
- Sarandón SJ (2002) La agricultura como actividad transformadora del ambiente. El Impacto de la Agricultura intensiva de la Revolución Verde. En "AGROECOLOGIA: El camino hacia una agricultura sustentable", SJ Sarandón (Editor), Ediciones Científicas Americanas, La Plata. 1: 23-48.
- Sarandón SJ (2009) Biodiversidad, agrobiodiversidad y agricultura sustentable: Análisis del Convenio sobre Diversidad Biológica. En *Vertientes del pensamiento agroecológico: fundamentos y aplicaciones*, Tomas León Siccard, Miguel A Altieri (Eds.), IDEAS 21, Sociedad Científica Latinoamérica de Agroecología (SOCLA), Universidad Nacional de Colombia, Opciones Graficas Editores, Bogotá, DC , Colombia, 4: 105-130.
- Sarandón, SJ (2011) Incorporando la Agroecología en las Instituciones de Educación Agrícola. Una necesidad para la Sustentabilidad Rural. *La Agroecología en la construcción de alternativas hacia la sustentabilidad Rural*. Jaime Morales Hernández (editor). Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente, Guadalajara, México. Ediciones Siglo XXI. pp.:168-189.
- Shiva V (1996) Monocultivos de la mente. En: *Monocultivos y biotecnología (amenazas a la biodiversidad y la supervivencia del planeta)*. Instituto del Tercer Mundo (ITEM), Uruguay: 9-61.
- Siddique KH, RK Belford & D Tennant (1990) Root: shoot ratios of old and modern, tall semi dwarf wheats in a mediterranean environment. *Plant and Soil* 121:89-98.

- Toledo VM (1994) Tres problemas en el estudio de la apropiación de los recursos naturales y sus repercusiones en la educación. En: Ciencias Sociales y Formación Ambiental. E Leff (compilador), Editorial Gedisa, Barcelona, España: 157-180.
- UNEP (1992) Convention on Biological Diversity. UNEP – Environmental Law and Institutions Program Activity Centre, Nairobi. Disponible en: <http://www.cdb.int>. Último acceso septiembre de 2013.
- UNEP/CDB/COP/5 (2000) The Biodiversity Agenda. Decisiones adoptadas por la conferencia de las partes en el convenio sobre la diversidad biológica en su quinta reunión. Apéndice. Nairobi
- Vicente L & SJ Sarandón (2013) Conocimiento y valoración de la vegetación espontánea por agricultores hortícolas de la plata. Su importancia para la conservación de la agrobiodiversidad. Rev. Bras. de Agroecología. 8(3): 57-71
- Von Bertalanffy L (1968) General systems theory. New York, George Braziller. 295 pp.
- Zhu YG, SE Smith, AR Barritt & FA Smith (2001) Phosphorus (P) efficiencies and mycorrhizal responsiveness of old and modern wheat cultivars. Plant and Soil 237, 249-255.

CAPÍTULO 5

LA BIODIVERSIDAD EN LOS AGROECOSISTEMAS

Susana A. Stupino, María José Iermanó, N. Agustina Gargoloff y M. Margarita Bonicatto

Introducción

La biodiversidad (BD) constituye la base de la vida en el planeta y de la sustentabilidad de los agroecosistemas. Además de ser fuente de genes, proporciona una variedad de servicios ecológicos que, entre otras cosas, permiten reducir el uso de insumos externos. Sin embargo, la BD no siempre es tomada en cuenta o valorada correctamente desde el enfoque de agricultura convencional. Este modelo se basa en la simplificación del agroecosistema hasta reducirlo a unos pocos componentes biológicos de alto valor económico. El resultado de esto, es un sistema artificial que requiere de la intervención humana constante por medio de insumos, a fin de controlar su funcionamiento.

El impacto de la actividad productiva sobre la BD depende del modelo elegido, de la extensión de la actividad y del estilo de agricultura que se realice (entendiendo agricultura como término que incluye, tanto a la producción agrícola como ganadera).

El objetivo de este Capítulo es comprender la importancia de la BD, las formas de caracterizarla y analizar el impacto que los diferentes estilos de agricultura tienen sobre la misma.

Significado e importancia de la biodiversidad para la agricultura

El término diversidad biológica o Biodiversidad (BD) significa “variedad de vida” (Gaston & Spicer, 2004)¹. En el uso popular, su significado se asocia al

total de especies diferentes presentes en un área. Sin embargo, desde hace ya unos años, se reconoce que la BD es un concepto complejo, que involucra varios niveles de organización biológica (genes, especie, población, comunidad, ecosistema y paisaje) y que no es solamente un concepto que expresa la “variedad de vida” sino que es una construcción socio-política y una entidad ecológica medible (Gaston, 1996). El Convenio sobre Diversidad Biológica (UNEP, 1992) define a la biodiversidad como “la variabilidad entre organismos vivos de todo tipo u origen incluyendo, entre otros, ecosistemas terrestres, marinos y otros sistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los cuales ellos forman parte”. Esta definición abarca la diversidad biológica en tres niveles jerárquicos principales, claramente relacionados: diversidad dentro de las especies (genética), entre las especies (específica) y de los ecosistemas (ecosistémica).

La Biodiversidad (“variedad de vida”) es un concepto complejo, que involucra varios niveles de organización biológica y además representa una construcción socio-política y una entidad ecológica medible.

Actualmente, existe una mayor conciencia mundial sobre la importancia de preservar la BD para garantizar el desarrollo sustentable. Prueba de ello es la firma del Convenio sobre Diversidad Biológica entre la mayoría de los países, incluido la Argentina (UNEP, 1992). Dicho acuerdo reconoce, por primera vez en el derecho internacional, que la conservación de la BD es una preocupación de la humanidad y es una parte integral del proceso de desarrollo. Por lo tanto, uno de los desafíos más importantes a nivel mundial es lograr compatibilizar la conservación con el manejo sostenible de la BD (UNEP, 1997). Un aspecto muy importante del Convenio es que adopta el “principio de precaución” al señalar que “cuando existe una amenaza de reducción o pérdida sustancial de la diversidad biológica no debe alegarse la falta de pruebas científicas inequívocas como razón para aplazar las medidas encaminadas a evitar o reducir al mínimo esta amenaza”. Al introducir explícitamente esta frase en el preámbulo, se reconoce, por un lado, un grado importante de

incertidumbre en relación con varios aspectos de la BD y, por el otro, el carácter muchas veces irreparable de las pérdidas que pudieran ocurrir. No hay dudas de que, ante la incertidumbre, lo mejor es prevenir (Sarandón, 2009).

El compromiso de conservar la BD no es ajeno al manejo y gestión de los agroecosistemas, ya que la agricultura es una de las actividades principales que afecta la BD tanto en extensión como en intensidad (Altieri & Nicholls, 1994; Jarvis *et al.*, 2011). La agricultura implica la simplificación de los ecosistemas a través del reemplazo de la diversidad natural por un pequeño número de plantas cultivadas y animales domésticos (Altieri, 1999; Swift *et al.*, 2004). Teniendo en cuenta que la agricultura es uno de los usos de la tierra predominante en el mundo (ocupa alrededor del 40% de la superficie terrestre) (FAO, 2013), es fundamental mantener la BD en los agroecosistemas (Matson *et al.*, 1997). Sin embargo, el modelo agrícola dominante (derivado de la Revolución Verde), es una de las principales amenazas contra la BD debido al uso intensivo de agroquímicos y la utilización de un número reducido de especies y variedades mejoradas, y de otras tecnologías, que conducen a la pérdida de especies silvestres beneficiosas por su rol ecológico en los ecosistemas naturales y modificados (Altieri & Nicholls, 1994; Matson *et al.*, 1997). Además, el uso creciente de variedades uniformes de alto potencial de rendimiento determina la merma de importantes recursos genéticos valiosos. Esta erosión genética se refleja en las cifras mundiales actuales: sólo 15 especies de cultivos y 8 de animales domésticos representan el 90% de los requerimientos calóricos de la alimentación mundial (SCDB, 2013).

El modelo agrícola dominante es una de las principales amenazas contra la BD debido al uso intensivo de agroquímicos y tecnologías que conducen a la pérdida de especies silvestres beneficiosas por su rol ecológico en los ecosistemas naturales y modificados y a la merma de recursos genéticos valiosos.

Uno de los elementos claves de la intensificación ha sido el de la especialización en el proceso productivo, reduciendo el número de especies de

cultivo o de ganado, o ambos (Matson *et al.*, 1997). Al simplificar los sistemas productivos, se promueve una alta uniformidad, tanto a escala de finca como de paisaje (Altieri, 1999; Jarvis *et al.*, 2011). En este sentido, es común observar lotes sembrados con una o pocas especies que, usualmente, son genéticamente homogéneas y grandes superficies en el paisaje rural destinadas a la producción de unos pocos cultivos y con pocas áreas no cultivadas (Sarandón, 2002). Tal es el caso de los sistemas agrícolas extensivos de la Región Pampeana, en los que se produce un número reducido de cultivos (principalmente soja en verano y cebada o trigo en invierno), en lotes con superficies superiores a las 100 has. En estos sistemas, por lo general, no existen áreas sin cultivar y los alambrados (potenciales borduras) han sido levantados para facilitar las tareas de siembra, pulverización y cosecha (Iermanó, com. pers., 2013). La conversión a paisajes homogéneos ligada a la expansión del monocultivo determina la pérdida de hábitats naturales y las especies asociadas a los mismos (Altieri, 1999; Benton *et al.*, 2003).

Estos aspectos sugieren que desde el enfoque de la agricultura convencional la importancia o el valor de la BD no es aún del todo comprendido (ver anexo 5.1). La BD es esencial para la agricultura y representa la base de la sustentabilidad de los agroecosistemas (SCDB, 2008) ya que provee los recursos biológicos (genes) de las plantas agrícolas y los animales domesticados que son la base de la alimentación actual y que constituyen un potencial enorme para el desarrollo en el futuro. La totalidad de nuestros cultivos derivan de especies silvestres que han sido modificadas a través de la domesticación, mejoramiento selectivo e hibridación (SCDB, 2008; Altieri, 1999). Además, la BD interviene en una variedad de funciones que proveen servicios al agroecosistema y a otros sistemas más allá de la producción de alimentos, fibra y combustible (Altieri & Nicholls, 1994; Gliessman, 2002). Estas funciones o procesos ecológicos² son la sucesión, la regulación biótica, el ciclado de nutrientes, el flujo de energía y la regulación del ciclo del agua. Los flujos de materia y energía y sinergismos que determinan los servicios

ecológicos son de naturaleza biológica, por lo tanto, dependen del mantenimiento de la BD (Altieri & Nicholls, 1994).

Anexo 5.1: La valoración de la biodiversidad

Uno de los aspectos principales que pone en riesgo la biodiversidad en general, y de los agroecosistemas en particular, es que pertenece a aquellos recursos o bienes que tienen valor pero no tienen precio. Si bien el manejo de la BD suele estar asociado a un valor de uso, puede presentar otros valores que no pueden generalmente ser traducidos a valores monetarios (ver Capítulo 3). Estos valores abstractos no siempre son percibidos claramente por la sociedad, poniendo en riesgo la BD. Según Swift *et al.* (2004) se distinguen cuatro formas de valorarla:

1) **Valor utilitario o “valor de uso directo”**: son los beneficios comerciales derivados de la utilización de la BD (cultivos, forrajes, etc). Este valor puede ser privado o acumulativo para aquellos que gestionan la tierra (agricultores, gobierno). También aplicable a situaciones donde se obtienen beneficios económicos a partir de la utilización de BD en su ambiente natural, como en el caso de la extracción de productos farmacéuticos.

2) **Valor funcional de la biodiversidad**: se refiere a las funciones ecológicas que contribuyen al sostenimiento de la vida. Los servicios ecológicos que se desprenden de la BD funcional se mantienen fuera de los límites de los beneficios utilitarios. Estos servicios, dependen de la presencia de grupos funcionales en el agroecosistema y el paisaje.

3) **Valor a futuro** o también llamado “valor de legado”. Es la creencia de que la BD tiene un valor a futuro que todavía no es conocido, pero debe ser conservado. Es un legado para las generaciones futuras. Por ejemplo, especies no conocidas, microorganismos con potencial genético desconocido para productos industriales. Este criterio de valoración tiene un gran componente ético.

4) **Valor intrínseco**: se refiere al valor que la BD tiene por si misma. Comprende beneficios culturales, sociales, éticos y estéticos. Dentro de este criterio, entra la valoración que las culturas atribuyen a determinadas especies o ecosistemas. En las producciones tradicionales es común encontrar que la BD mantenida es evaluada por este criterio.

Los sistemas simplificados, de baja diversidad, requieren que las funciones (debilitadas) sean suplidas mediante el empleo de insumos (Altieri & Nicholls, 1994, Swift *et al.*, 2004). Por ejemplo, los fertilizantes reemplazan el reciclado de nutrientes por medios biológicos y los productos fitosanitarios el control natural de las poblaciones de malezas, insectos y patógenos. En contraposición, el aprovechamiento de los servicios que provee la BD, permite reducir el uso de insumos externos en los agroecosistemas y el impacto ambiental sobre otros sistemas. De esta manera, la BD se convierte en un instrumento útil para diseñar sistemas agrícolas sustentables. Esto requiere primero conocer cuáles son los componentes de la misma relevantes a la agricultura.

Diversidad biológica agrícola o Agrobiodiversidad

La diversidad biológica agrícola o agrobiodiversidad comprende:

“todos los componentes de la diversidad biológica que constituyen el ecosistema agrícola, las variedades y variabilidad de animales, plantas y microorganismos a nivel genético, de especies y de ecosistemas, necesarios para mantener las funciones principales de los ecosistemas agrarios, su estructura y procesos”(UNEP, 2000).

En un sentido amplio del término, el Convenio sobre Diversidad Biológica reconoce los siguientes componentes de la agrobiodiversidad (UNEP, 2000):

- (1) Recursos genéticos vegetales, animales, microbianos y fúngicos. Incluye los recursos genéticos de las especies cultivadas y domesticadas, los recursos genéticos de las plantas y animales silvestres controlados, así como variedades silvestres similares de especies cultivadas y domesticadas.
- (2) Una amplia gama de organismos necesarios para sustentar la estructura, y procesos clave del agroecosistema. Estos organismos intervienen en los siguientes servicios ecológicos:
 - Ciclo de los nutrientes, descomposición de la materia orgánica y mantenimiento de la fertilidad de los suelos.
 - Regulación de plagas y enfermedades.
 - Polinización.
 - Mantenimiento de la fauna y la flora silvestres y los hábitats locales.
 - Mantenimiento del ciclo hidrológico.
 - Control de la erosión.
 - Regulación del clima y absorción del carbono.
- (3) Los factores abióticos que tienen efecto sobre la diversidad agrícola.
- (4) Las dimensiones socioeconómicas y culturales que determinan las actividades agrícolas.

Esto comprende el conocimiento tradicional y local de la diversidad agrícola, los factores culturales, procesos participativos y el turismo relacionado

con los paisajes agrícolas. El conocimiento tradicional refiere al conocimiento, las innovaciones y las prácticas de las comunidades locales (SCDB, 2011). Se basa en la experiencia obtenida durante siglos y su adaptación al entorno ambiental y cultural local. Las comunidades han aprendido, usado y transferido los conocimientos sobre la biodiversidad local y la forma en que puede ser utilizada. Estos comprenden desde alimentos y medicamentos, prendas de vestir hasta el desarrollo de habilidades y prácticas para la agricultura y la cría de animales. Por lo tanto, los componentes de la diversidad presentes en un agroecosistema dependen de la influencia humana (UNEP, 2000). Es importante considerar también que no hacen falta siglos para tener este conocimiento sobre la biodiversidad; en nuestra región, por ejemplo, hay un conocimiento de los agricultores sobre los componentes de la agrobiodiversidad y sus funciones. Un ejemplo de esto se pudo ver durante la III Feria Provincial de Semillas Nativas y Criollas de la provincia de Buenos Aires, donde se registraron más de 16 categorías de usos de las semillas intercambiadas por los agricultores familiares (Bonicatto *et al.*, 2010)

La diversidad biológica agrícola o agrobiodiversidad comprende “todos los componentes de la diversidad biológica que constituyen el ecosistema agrícola, las variedades y variabilidad de animales, plantas y microorganismos a nivel genético, de especies y de ecosistemas, necesarios para mantener las funciones principales de los ecosistemas agrarios, su estructura y procesos” (UNEP, 2000).

De manera práctica, la diversidad biológica agrícola se puede subdividir en planeada y asociada. La *diversidad planeada* es aquella que es incorporada al sistema por decisión del agricultor y que varía de acuerdo a las estrategias de manejo, tal como un cultivo de maíz (Vandermeer & Perfecto, 1995). La *diversidad asociada* comprende todos los organismos cuya presencia en el agroecosistema está determinada por la estructura y manejo del mismo, sin la mediación directa de la intervención humana. Es decir, que no son incluidos intencionalmente por el agricultor, como los insectos y aves que se alimentan del maíz o la vegetación que crece espontáneamente dentro del lote y en el

borde de los alambrados. La vegetación espontánea, que responde a los diseños y cultivos elegidos, puede ser muy importante en los sistemas que mantienen una alta diversidad cultivada y donde el control por el agricultor es menos intensivo (Stupino *et al.*, 2008; 2011).

La complejidad que logre cada sistema, a través de la intervención del agricultor, determinará el nivel de diversidad presente. Una mayor diversidad permitirá que se den las interacciones necesarias para optimizar los servicios ecológicos. Estos son el fundamento clave para el diseño de sistemas sustentables.

La evaluación de los niveles adecuados de agrobiodiversidad necesarios para que las funciones ecológicas tengan lugar, no es sencilla. Es necesario aprender a “mirar” la agrobiodiversidad para, a través de la misma, determinar cuáles son las prácticas de manejo que permiten recuperar y/o potenciar los servicios ecológicos que esta brinda.

Cómo caracterizar la biodiversidad de un agroecosistema

Composición, estructura, y función de la biodiversidad

Existen diferentes maneras de analizar y cuantificar la BD de un agroecosistema (ver anexo 5.2) (Duelli & Obrist, 2003). Una manera de caracterizarla es subdividiéndola en tres aspectos: la composición, la estructura y la función (Noss, 1990). La **composición** tiene que ver con la identidad y variedad de los elementos que constituyen la biodiversidad, como los genes y las especies. Un listado de especies de los cultivos presentes en un campo da idea de la composición y, el número de especies diferentes da idea de la diversidad específica. La **estructura** se refiere a la disposición física de los elementos. Son ejemplos de estructura, la distribución espacial de las plantas cultivadas o espontáneas en el plano horizontal (patrón de asociación) y/o vertical (en un perfil con diferentes capas o estratos) y, la estructura trófica determinada por las relaciones alimentarias entre las especies. La **función**

surge de los procesos ecológicos que ocurren en el sistema, como por ejemplo la regulación biótica.

Esta diferenciación permite identificar qué aspectos se deben analizar para saber si un agroecosistema es diverso o no. Por ejemplo, un pastizal con diez especies de gramíneas parecería ser más diverso que uno con tres especies de gramíneas y tres de hoja ancha, al tener una composición más rica (mayor riqueza de especies). Sin embargo, el primer caso tendría menor diversidad desde el punto de vista estructural que el segundo (plantas de arquitectura similar).

Anexo 5.2: Algunas consideraciones sobre el cálculo de la biodiversidad agrícola

Uno de los desafíos más importantes de las ciencias agrarias es poder dimensionar con mayor precisión los niveles de biodiversidad de los agroecosistemas. Para tomar decisiones como por ejemplo, disminuir el uso de agroquímicos, se requiere saber si se cuenta con niveles adecuados de diversidad funcional.

La medida más simple de medir la biodiversidad de un área es la riqueza, que resulta de contar el número de especies que existen dentro del área (Smith & Smith, 2007; Magurran, 1988). Sin embargo, dentro del conjunto de especies consideradas, no todas son igualmente abundantes. Por lo tanto, se requiere conocer además, la abundancia relativa de las especies. Esta se obtiene contando todos los individuos de cada especie y estimando el porcentaje que cada una contribuye al total. Entonces, un área será más diversa cuando mayor es la riqueza de especies y más equitativa es la distribución de los individuos de cada especie, lo que se denomina equitabilidad de las especies. Los índices más conocidos que combinan tanto la riqueza como la abundancia relativa son el de Shannon y el de Simpson. En general, los índices utilizados en ecología son de amplia aplicación y pueden utilizarse en los agroecosistemas, pudiéndose calcular, por ejemplo, la diversidad de cultivos o de hábitats en un paisaje agrícola. No obstante, no aportan mucha información acerca de las funciones ecológicas, ya que no fueron contruidos para esto.

Existe un amplio consenso en muchos aspectos acerca del efecto de la diversidad sobre las funciones en los ecosistemas. Es decir, que una mayor diversidad incrementa las funciones debido a que diferentes especies juegan roles diferentes y ocupan distintos nichos. Esta relación ha sido más estudiada para pequeñas áreas o para un simple nivel trófico. Por ejemplo, cómo cambia la productividad en los pastizales cuando cambia la diversidad. Sin embargo, poco se conoce aún acerca de las interacciones entre todos los componentes de la cadena trófica y por ende, de cuáles son los índices más apropiados para medir la diversidad funcional (Clergue, *et al.*, 2005). Una herramienta utilizada para su evaluación es la riqueza de grupos funcionales, entendiendo por grupo funcional el conjunto de especies que tiene efecto similar sobre los procesos del ecosistema (por ejemplo, especies fijadoras de nitrógeno). Además, algunos autores proponen nuevos índices para evaluar atributos funcionales de la biodiversidad en los agroecosistemas (Griffon, 2008; Iermanó & Sarandón, 2011).

Uno de los desafíos que aún deben afrontarse es “medir los niveles mínimos” de biodiversidad que implican poner en riesgo o que son necesarios para las funciones esenciales de los agroecosistemas.

Dimensiones de la biodiversidad

Los agroecosistemas son dinámicos y difieren en sus componentes biológicos, tales como en el tipo de plantas cultivadas, los herbívoros asociados y las razas de ganado. También varían en la disposición espacial de los mismos (cultivos de diferentes alturas y diseño de siembra) y pueden cambiar a lo largo del tiempo tanto en forma periódica como estacional (rotaciones). En virtud de esta complejidad puede caracterizarse la BD a través de las dimensiones propuestas por Gliessman (2002) (Tabla 5.1). Estas dimensiones permiten analizar la diversidad en forma desagregada considerando los aspectos composicionales, estructurales y funcionales de los sistemas, incluyendo los cambios temporales.

Dimensión	Descripción
Genética	Grado de variabilidad de información genética en el sistema (intra e inter específica): variedades, híbridos, clones, etc.
Específica	Número de especies presentes en el sistema.
Vertical	Número de estratos o niveles en el sistema. Arquitectura de los cultivos.
Horizontal	Patrones de distribución espacial de los organismos y/o cultivos.
Estructural	Número de hábitats, nichos, papeles tróficos determinantes de la organización del sistema.
Temporal	Grado de heterogeneidad en el tiempo: rotaciones, sucesiones de cultivos.
Funcional	Complejidad de interacciones, flujo de energía y ciclaje de materia entre los componentes del sistema.

Tabla 5.1: Dimensiones de la diversidad en un agroecosistema. Basado en Gliessman (2002)

La dimensión funcional de la BD es producto de la existencia, interacción y particularidades de las otras dimensiones descriptas. La diversidad funcional puede definirse como aquella que contribuye a la productividad del agroecosistema a través de la optimización de los procesos ecológicos que ocurren en el mismo (Nicholls, 2006) (Figura 5.1).

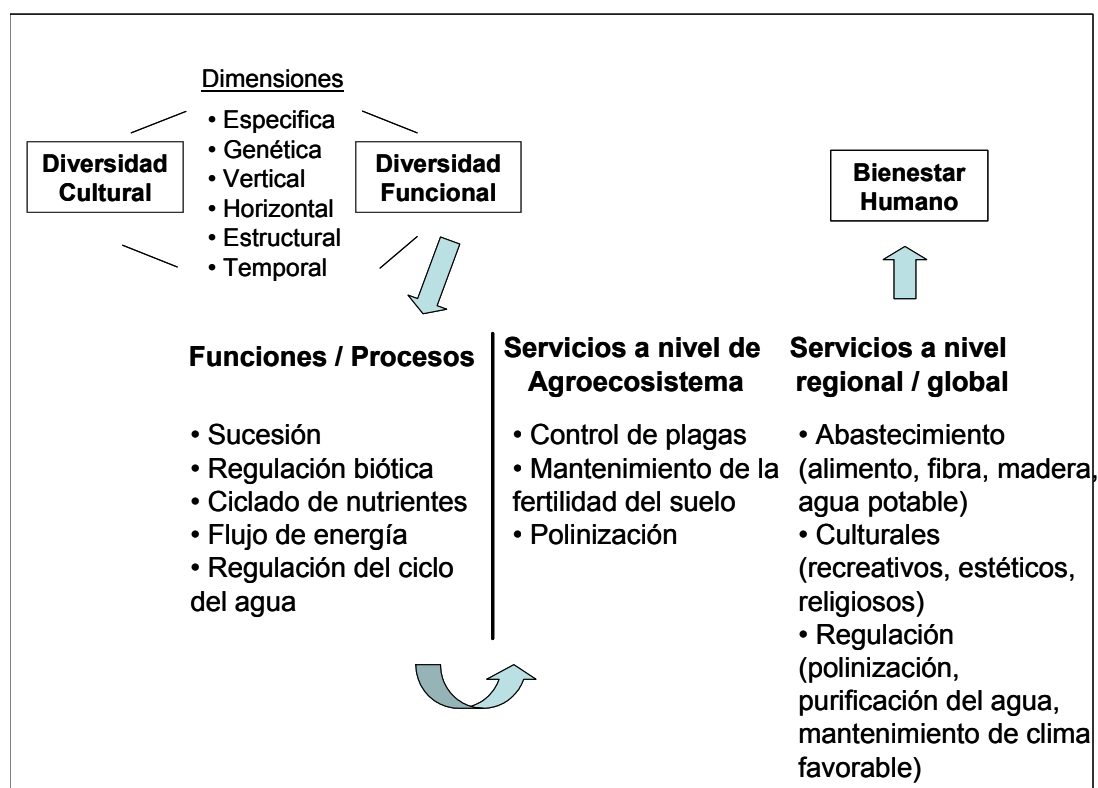


Figura 5.1: Modelo simplificado de las dimensiones, funciones y servicios ecológicos de la biodiversidad en los agroecosistemas. Elaboración propia a partir de Nicholls (2006) y Martín López et al. (2007)

Las funciones o procesos son entendidos desde una mirada antropocéntrica, traduciéndose en servicios cuando son usadas por la sociedad (Martín-López *et al.*, 2007). Por ejemplo, la fijación de nitrógeno atmosférico que realizan las leguminosas es parte de la función de ciclado de nutrientes del ecosistema. Esta función se convierte en un servicio ecológico cuando los seres humanos toman conciencia de que pueden suplir parte de la fertilización nitrogenada con el aporte de nitrógeno desde la atmósfera para mantener la fertilidad del suelo. Prácticas como la incorporación de leguminosas a través de abonos verdes o rotaciones se basan en el uso de este servicio (ver Capítulo 13).

Las funciones se verán más favorecidas cuanto más compleja es la diversidad en cada una de las dimensiones. Esto se logra a través de estrategias de manejo basadas en tecnologías de procesos, que optimicen

dichas funciones ecológicas. Estas estrategias de manejo son planificadas por los agricultores (diversidad cultural), por lo que resultan fundamentales para determinar los componentes de la BD del agroecosistema.

El agricultor determina cómo se organiza espacial y temporalmente la diversidad. Por ejemplo, establece cuál es el tamaño de los lotes, el tipo de especie o variedad de cultivo que va a utilizar, la distancia entre plantas, etc. Estos arreglos de la diversidad tienen importancia en el cumplimiento de las funciones. Por ejemplo, si se tienen dos campos con 10 cultivos iguales cada uno y en igual proporción de siembra, pero en uno se distribuyen como monocultivos de 1 hectárea y en el otro intercalados en franjas, no se obtienen los mismos beneficios en el control de una plaga, ni en el uso de algunos recursos. Según el diseño elegido, varían, por ejemplo, las distancias que el enemigo natural debe recorrer para encontrar la presa y la disponibilidad de plantas con flores como alimento alternativo, así como el éxito o fracaso de un policultivo.

Existen diferentes prácticas agrícolas o diseños que tienen el potencial de incrementar la BD para potenciar los procesos señalados. Algunas estrategias de manejo que favorecen ciertas dimensiones de la diversidad se ejemplifican en la Tabla 5.2 (ver Capítulo 13).

Práctica	Genética	Específica	Vertical	Horizontal	Estructural	Temporal	Funcional
Cultivos de cobertura							
Policultivos							
Rotaciones							
Borduras							

Tabla 5.2: Ejemplos de prácticas agrícolas que aumentan la diversidad en un agroecosistema.
Modificado de Gliessman (2002)

Los cultivos de cobertura son especies que se siembran junto al cultivo principal para proveer cobertura al suelo (Gliessman, 2002). Generan un

incremento de los estratos de vegetación (*diversidad vertical*), un aumento de la entomofauna benéfica (*diversidad específica*) y activan la biología del suelo. En este caso se ven favorecidos los procesos ecológicos de regulación biótica y ciclado de nutrientes (*diversidad funcional*). A su vez, de acuerdo al tamaño de la planta y la estructura del dosel ayudan en el mantenimiento de un clima favorable, servicio que colabora con el bienestar humano.

Los policultivos consisten en la siembra de más de una especie, que comparten gran parte del ciclo del cultivo en un mismo lote (ver Capítulo 13). Un ejemplo clásico son las pasturas consociadas (gramíneas y leguminosas) utilizadas comúnmente en los sistemas ganaderos. La presencia de más de una especie de gramíneas mezcladas con leguminosas (*diversidad específica*) determina la conformación de distintos estratos (*diversidad vertical*) y una distribución espacial desuniforme dada por las diferencias de implantación de las especies de la mezcla (*diversidad horizontal*). La configuración estructural compleja favorece la *diversidad funcional*.

Las rotaciones implican la siembra de diferentes cultivos en sucesión o en una secuencia recurrente, por lo tanto, incrementan la diversidad del sistema en el tiempo (*diversidad temporal*) (Gliesman, 2002) (ver Capítulo 13). Los residuos de distintos cultivos varían química y biológicamente, estimulando diferentes organismos del suelo (*diversidad funcional*). Las rotaciones pueden promover la actividad de organismos que son controladores de plagas o enfermedades del cultivo siguiente. Las rotaciones también tienden a mejorar la estructura y fertilidad del suelo, reducir la erosión y adicionar materia orgánica.

Las franjas de vegetación o borduras naturales o implantadas en el perímetro del campo o caminos pueden aumentar la diversidad en distintas dimensiones. Además, pueden atraer organismos benéficos, reducir la erosión del suelo por viento o agua, y actuar como barreras rompevientos para los cultivos. También presentan una función estética o recreativa (Gliessman, 2002; Marshall & Moonen, 2002).

En la Chacra experimental Barrow del INTA, Argentina, uno de las estrategias para la transición hacia sistemas agroecológicos fue la

diversificación vegetal a partir de la incorporación de gramíneas como trigo, cebada, sorgo o maíz junto con leguminosas como vicia, trébol rojo o bien soja, con la idea de colocar, en el mismo área cultivada, varias especies (Berretta, 2014).

Escalas de diversidad, Alfa, Beta y Gamma

La importancia de la distribución espacial de la diversidad para el cumplimiento de las funciones ecológicas ha despertado especial interés en los últimos años.

La diversidad puede variar en las diferentes escalas espaciales (local, regional, global) (Magurran, 1988). Comúnmente se hace una distinción entre la diversidad Alfa, Beta y Gamma (Magurran, 1988; Whittaker *et al.*, 2001), que toman como medida de referencia la riqueza de especies. En este sentido, la **diversidad Alfa** o *diversidad dentro de un hábitat*, representa el número de especies (riqueza) dentro de un área de referencia local de un determinado tipo vegetación o de hábitat (como un lote de cultivo) (Koleff & Gaston, 2002). La diversidad Alfa será mayor cuanto más alto sea el número de especies.

Por otro lado, la **diversidad Gamma** es la riqueza total de especies en una unidad espacial mayor (por ejemplo, un paisaje), incluyendo los hábitats que en ella se encuentran. Es decir, que contiene las Alfa diversidades.

Por último, la **Diversidad Beta** o *diversidad entre hábitats*, es la medida de la tasa de recambio o reemplazo de especies entre hábitats de Alfa diversidades. Describe qué tan diferentes son dichas unidades en término de su composición de especies. Es decir, que la diversidad Beta será mayor cuanto los hábitats más difieran en su composición de especies y más baja cuando sean más similares entre sí.

A modo de ejemplo simplificado, si comparamos la diversidad de la vegetación espontánea en dos agroecosistemas (A y B) (Figura 5.2), el número de especies promedio por lote (Alfa) es mayor en el agroecosistema A (5 especies) que en B (3 especies). La riqueza total (Gamma) también es mayor

en A (6 especies) que en B (5 especies). Sin, embargo, en el agroecosistema B, la diversidad entre lotes (Beta) es más alta porque ambos lotes (3 y 4) difieren más en la composición de especies que las del agroecosistema A (2 especies vs 1 especie). Esto da una idea del grado de heterogeneidad del sistema considerado.

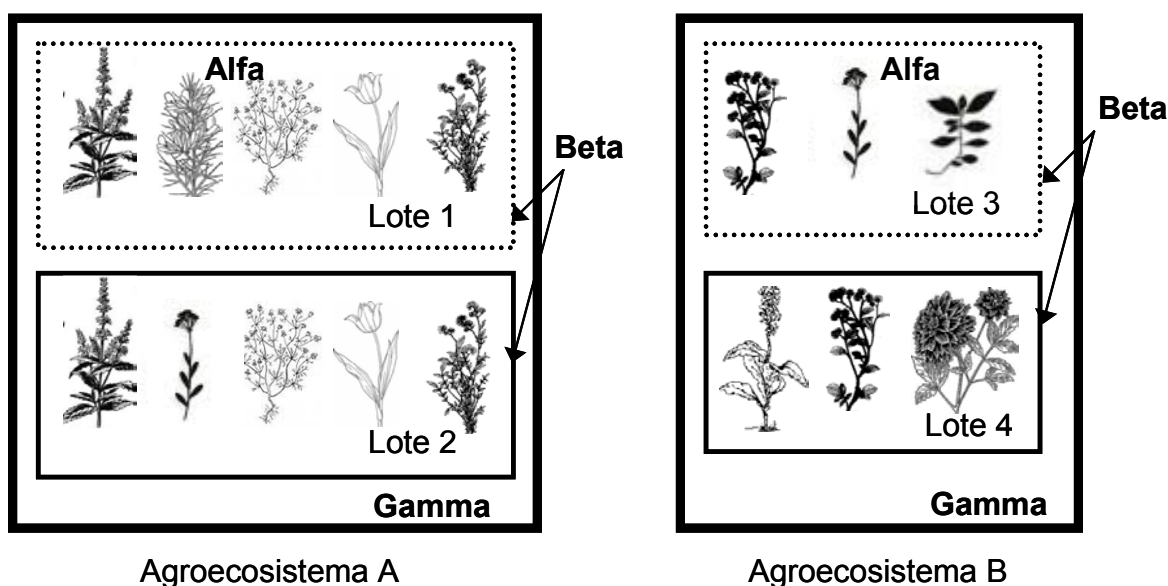


Figura 5.2: Esquema simplificado de la diversidad de plantas espontáneas de dos agroecosistemas diferentes (A y B). En cada agroecosistema, cada recuadro menor (punteado y liso) representa el área de diversidad Alfa dentro de un lote (Lote 1, Lote 2, Lote 3 y Lote 4, respectivamente). La línea gruesa es el área que comprende la diversidad Gamma o diversidad total del agroecosistema. La diversidad Beta resulta de comparar unidades Alfa entre sí. Modificado de Ferriol Molina & Merle Farinós (2012)

En la medida que el número de especies en el lote (área local) se acerca al número del área total o agroecosistema (Alfa tiende a Gamma), significa que las lotes son “más parecidos” y hay menos posibilidades de incorporar nuevas especies cuando se aumenta el área. Por lo tanto, el agroecosistema resulta en un patrón homogéneo.

El análisis espacial de la diversidad brinda información acerca de la estructura y diversidad del agroecosistema y del paisaje (Gliessman, 2002). En la escala de finca, el manejo de la BD influye sobre los recursos y condiciones

que requieren las especies para establecerse (nichos potenciales). Una estructura de la vegetación más heterogénea, lograda a través de un alto número de cultivos o consociaciones genera una mayor diversidad de hábitat que permiten albergar una mayor riqueza de organismos (Benton *et al.*, 2003; Stupino *et al.* 2008). En general, una mayor diversidad de plantas lleva a una mayor diversidad de herbívoros y esto determina el incremento de parásitos y predadores, optimizando el funcionamiento del agroecosistema (Altieri & Nicholls, 1994) (ver anexo 5.3).

Anexo 5.3. La biodiversidad en los sistemas hortícolas La Plata

Las áreas con vegetación seminatural en los agroecosistemas, pueden proveer condiciones apropiadas para la presencia de enemigos naturales, favoreciendo la función de regulación biótica. Sin embargo, la importancia de estas áreas no siempre es percibida por los agricultores. En los sistemas hortícolas de La Plata los agricultores familiares convencionales se caracterizan por un alto uso de plaguicidas para disminuir el posible daño por plagas. Sin embargo, para estos agricultores es una prioridad disminuir su uso debido al costo y la peligrosidad que representan los agroquímicos.

Paleologos *et al.* (2008), estudiaron el rol de estos ambientes seminaturales como reservorio de biodiversidad de artrópodos y su posible rol en la regulación biótica. Se analizó la relación entre algunas características de la diversidad vegetal y la artrópodofauna, especialmente de enemigos naturales. Se muestrearon ambientes seminaturales que rodean a los principales cultivos en fincas hortícolas, teniendo en cuenta las siguientes variables: riqueza de especies, géneros y familias de plantas no cultivadas por ambiente; riqueza de especies por familias potencialmente importantes por su rol como hospederas de enemigos naturales (Apiaceae, Fabaceae y Asteraceae) y número de estratos verticales. Por otro lado, se muestreó la diversidad de la fauna de artrópodos que se encuentra en la vegetación (epífitos) y la que se moviliza sobre el suelo (epígea).

Se encontró una importante riqueza vegetal (51 especies, 47 géneros, y 18 familias) y de estratos vegetales (4 a 6). Las familias Apiaceae, Fabaceae y Asteraceae estuvieron bien representadas. Entre los enemigos naturales, se capturaron microhimenópteros y predadores como Arácnidos, Opiliones y Coleópteros (Carabidae, Coccinellidae y Staphylinidae). Se encontró una correlación positiva entre la riqueza de especies vegetales y la abundancia de enemigos naturales y también de géneros en las arañas (predadores)

La fauna epífita mostró más respuesta a los diferentes caracteres de la vegetación que la epígea. Los resultados sugieren que la composición y la estructura de la vegetación seminatural permitirían albergar enemigos naturales con hábitat y hábitos distintos, que podrían contribuir a la regulación de plagas. Se confirma que el incremento de las dimensiones específica y estructural vegetal permite incrementar la dimensión específica de niveles tróficos superiores. Los datos sugieren que en estos sistemas existiría un potencial biológico que podría ser aprovechado para un manejo sustentable.

La importancia del paisaje circundante

La presencia de ciertas especies en el agroecosistema puede depender, en parte, de la heterogeneidad del paisaje en el cual está inmerso. El paisaje agrícola representa un mosaico de fincas, de habitats seminaturales, infraestructura humana (camino, por ejemplo) y, ocasionalmente, habitats naturales (Marshall & Moonen, 2002). En la agricultura moderna, es común eliminar o modificar los bordes de vegetación seminatural con fines estéticos o productivos. Tal es el caso, del control de la vegetación espontánea con glifosato en los bordes de los alambrados o la utilización de las banquinas de las rutas para extender la superficie sembrada de soja. Sin embargo, los márgenes de los cultivos, límites de los alambrados, cercos y banquinas son elementos del paisaje agrícola importantes para la conservación de la BD (Altieri, 1999; Marshall & Moonen, 2002). Recientemente el gobierno de la Provincia de Santa Fe, Argentina, en su resolución N° 136 del MASPMA (Ministerio de Aguas, Servicios Públicos y Medio Ambiente) del 16 de marzo de 2011 prohibió el uso de las banquinas con fines agrícolas en las rutas provinciales para recuperar los corredores biológicos. En la resolución se reconoce que:

"la recuperación de los costados de banquinas y caminos como corredores biológicos ofrece una oportunidad para mejorar la conectividad y facilitar el flujo de las especies... evitando la pérdida de biodiversidad, rescatando especies nativas y evitando la erosión genética, como también mejorar los flujos de regulación y homeostasis propios de los ecosistemas balanceados o naturales que contribuyen a la conservación de condiciones para la sustentabilidad regional".

Las áreas de vegetación seminatural actúan como una fuente de dispersión de especies desde el paisaje hacia las fincas a través de la dispersión de semillas y el movimiento de la fauna (Weibull *et al.*, 2003; Tschardtke *et al.*, 2005). Las plantas con flores brindan néctar, polen y refugio para los enemigos naturales que controlan las plagas y para los polinizadores que intervienen en la reproducción de muchos cultivos (Marshall & Moonen, 2002). Por lo tanto, la permanencia de determinadas especies en el

agroecosistema, está condicionada por la presencia de estos elementos en el paisaje agrícola (Weibull *et al.*, 2003; Klein *et al.*, 2007).

Uno de los desafíos para los agroecólogos es identificar ensamblajes de BD ya sea a nivel de finca o de paisaje favorables para el funcionamiento del agroecosistema (Altieri & Nicholls, 1994). Un diseño diverso a escala de finca, no siempre se traduce en funciones, si la finca se encuentra inmersa en un paisaje homogéneo. Por lo tanto, es necesario mantener hábitats diversos cultivados y no cultivados (borduras, banquinas, montes) en el agroecosistema y su entorno para favorecer el incremento de la diversidad de especies en las diferentes escalas espaciales (Alfa, Beta, Gamma), y por ende, garantizar el cumplimiento de las funciones ecológicas (ver Capítulo 13).

El vínculo entre la agrobiodiversidad y los agricultores. Diversidad cultural

El agricultor es quien administra la agrobiodiversidad a través del diseño de los cultivos, la selección de variedades y razas animales, el control de adversidades y otras prácticas culturales utilizadas. Por eso se considera la diversidad cultural como parte de la agrobiodiversidad (Figura 5.2).

Desde la evolución de la agricultura, se vienen desarrollando técnicas adaptadas al suelo, clima y cultura y tradiciones de cada zona, muchas de las cuales persisten en la actualidad. Estas prácticas tradicionales y conocimientos agrícolas asociados, desarrollados en vínculo con los recursos naturales, difieren según los distintos grupos de agricultores de acuerdo a sus características ambientales, técnicas y socioculturales (Gargoloff *et al.*, 2011). Por ejemplo, para hacer un uso óptimo del espacio y los recursos, las estrategias de diversificación utilizadas en distintas regiones pueden ser policultivos, agroforestería, cultivos en distintos pisos o zonificaciones según la altitud.

Los sistemas basados en prácticas tradicionales presentan una gran diversidad de cultivos y variedades adaptadas. En los Andes, por ejemplo, se

cultivan hasta 50 variedades de papa (Altieri & Nicholls, 1994). Los agricultores que cultivan variedades locales conservan las semillas para sembrarlas de nuevo. Además, desarrollan la diversidad genética de las plantas que cultivan, a través de la selección dirigida a favorecer características de interés como el sabor, productividad, resistencia a plagas y enfermedades (Altieri, 2000; UNEP, 2000). Mantienen también, áreas naturales con plantas silvestres emparentadas a los cultivos y plantas aromáticas y de uso medicinal, entre otros. Estos sistemas constituyen reservas de diversidad genética *in-situ* (áreas de conservación en el lugar que se produce). Incluso en la Región Pampeana Argentina, muchos de los productores agrícola-ganaderos conservan variedades de semillas (especies de uso agrícola y forrajero) adaptadas a sus condiciones ambientales, para sembrarlas periódicamente (Iermanó, com. pers., 2013).

Los recursos genéticos conservados en las fincas resultan fundamentales para la producción agropecuaria y la seguridad alimentaria en el futuro. Además, representan la seguridad alimentaria de los propios agricultores y su reproducción social. Muchos agricultores mantienen la estrategia de diversificar, como un seguro para enfrentar el cambio ambiental o las necesidades sociales y económicas cambiantes. De hecho, sembrar varias especies de cultivos estabiliza los rendimientos en el largo plazo, mejora la productividad y aumenta al máximo la reinversión en el sistema en condiciones de niveles bajos de tecnologías y recursos limitados (Nicholls & Altieri, 2012). En la provincia de Misiones los agricultores familiares de sistemas agroforestales realizan un manejo apropiado y complejo de la BD, con un gradiente de uso que va desde lo natural y silvestre, hacia lo cultivado (Nosedá *et al.*, 2011). Un manejo sustentable de la BD ha sido encontrado en otros agricultores familiares de Misiones (Sarandón *et al.*, 2006) y en agricultores familiares y orgánicos en la zona Hortícola de La Plata (Gargoloff *et al.*, 2007) lo que sugiere que la diversidad es, tal vez, un modo de disminuir la incertidumbre en pequeños agricultores (Nosedá *et al.*, 2011).

El trabajo de Pochettino *et al.* (2011), sobre las semillas intercambiadas durante la I Feria Nacional de Semillas Nativas y Criollas, en Argentina,

muestra que los agricultores familiares y comunidades originarias de nuestro país conservan, de manera activa, más de 2000 etnoespecies y etnovariedades³. Esto evidencia el rol fundamental de los agricultores en el mantenimiento, tanto del material genético *per se*, como de los conocimientos en torno a su uso y cultivo. Estudios actuales realizados en el Cinturón Hortícola de La Plata, Argentina, muestran que a pesar de la fuerte presión del modelo sobre las producciones hortícolas de la zona, la práctica de conservación de semillas sigue activa (Bonicatto *et al.*, 2011). No sólo se están conservando semillas tradicionales, sino que esta práctica se extiende a la reproducción de híbridos y variedades de origen comercial, dejando en evidencia la adaptación constante de los agricultores a las coyunturas ambientales, sociales y económicas (Bonicatto com. pers., 2013).

Los conocimientos locales de los agricultores resultan, entonces, fundamentales para mantener y acrecentar la variabilidad genética, la diversidad de prácticas productivas, para diseñar sistemas múltiples de cultivo (agrícolas, agroforestales) y, por último, incrementar la heterogeneidad paisajística, todo lo cual contribuye a mantener una cierta sustentabilidad (Díaz-Bautista *et al.*, 2008).

Los estilos de agricultura y su impacto sobre la biodiversidad

Como se ha mencionado, la actividad agropecuaria implica la transformación de los ecosistemas naturales (ver Capítulo 1). Un agroecosistema genera un cambio en la estructura y funcionamiento del ecosistema natural sobre el que se desarrolla, alterando el adecuado funcionamiento. El cambio estructural está asociado, en primera instancia, a la remoción de la vegetación espontánea para implantar un cultivo o para el pastoreo del ganado. Al generarse cambios en las condiciones ambientales, se modifica la composición y diversidad de las especies, predominando aquellas especies cuyas estrategias de vida le permiten sobrevivir en ambientes disturbados (estrategas *r*) (ver Capítulo 6). Dado que las comunidades

vegetales actúan como soporte para el resto de las cadenas tróficas (Altieri & Nicholls, 1994), en la etapa inicial de cambio se produce una disminución de la diversidad total del sistema (especies vegetales y animales). Cuanto más intenso es el cambio realizado, mayor es la pérdida de BD.

El grado de cambio está asociado a la intensidad de la actividad productiva y al estilo de agricultura realizado. Podría decirse que la actividad agrícola implica un grado de simplificación mayor que la ganadería, ya que cambia la vegetación espontánea por cultivos, en general, de ciclo corto. La soja en Argentina (100% transgénica RR), constituye un claro ejemplo de esto. Se siembra un único cultivo de ciclo anual que se mantiene “limpio” de malezas y que en un corto período de tiempo es cosechado. Cuando se implanta una pastura, en cambio, se trata de una mezcla de varias especies que durarán de 3 a 5 años y que, por lo general, implica un control de malezas menos exhaustivo. A su vez, la actividad ganadera realizada sobre pasturas implantadas tiene un grado de intensidad mayor que aquella que se desarrolla sobre pastizales naturales (ver Capítulo 6).

La misma actividad productiva puede llevarse a cabo con distintos estilos de agricultura o bajo distintos enfoques, lo cual produce diferentes impactos sobre la BD (ver anexo 5.4).

El modelo agrícola moderno se basa en la idea de simplificación del sistema hasta reducirlo a unos pocos componentes a fin de controlar su funcionamiento con el uso de insumos externos. Las prácticas de manejo se visualizan a nivel de individuos o poblaciones, obviando el nivel de comunidad o ecosistema de donde surgen los procesos ecológicos (Gliessman, 2002). Prácticas como la eliminación de las rotaciones, la fertilización química, el control de adversidades con pesticidas de amplio espectro, favorecen la simplificación del agroecosistema y la disminución de la diversidad.

Cuanto mayor es el grado de simplificación de los agroecosistemas, debido a la disminución de la BD, más cantidad de insumos se requerirán para suplantar el adecuado funcionamiento de los procesos ecológicos clave, ahora debilitados (Iermanó & Sarandón, 2009). Esto puede analizarse mediante la energía invertida. Varios autores han analizado la proporción de la energía

total, que ha sido necesario invertir (input) para reemplazar dichos procesos, entre ellos, la regulación biótica y el ciclo de nutrientes, lo cual varía de acuerdo al cultivo analizado y a la técnica asociada. Iermanó & Sarandón (2009), encontraron que, en soja, los plaguicidas y fertilizantes, fueron responsables de gran parte de la energía invertida, y llegaron a representar más del 80 % cuando se repuso la misma cantidad de nutrientes extraídos por la cosecha del cultivo. En colza (Rathke & Diepenbrock, 2006), en arroz (Gajaseni, 1995), en trigo y en cebada (Deike *et al.*, 2008), se ha citado que hasta un 22% del total de energía invertida ha sido en plaguicidas. En un contexto donde la energía es necesaria y cada vez más escasa y costosa, (ver Capítulo 7) la optimización del uso de energía fósil se hace fundamental

Los estilos de agricultura familiar o de base agroecológica, presentan una alta diversidad planeada y asociada. Sus prácticas de manejo se asocian con el uso de policultivos, el uso reducido de insumos, las rotaciones y el mantenimiento de la diversidad en los márgenes de las áreas cultivadas (Gliessman, 2002; Altieri, 1999). Estas prácticas incrementan la heterogeneidad a diferentes escalas espaciales. Se ha estudiado que los sistemas orgánicos basados en un menor uso de insumos y con un importante número de hábitats cultivados y no cultivados, albergan una mayor diversidad de especies de plantas espontáneas, aves, e insectos benéficos (Benton *et al.*, 2003; Stupino *et al.*, 2008; Gabriel *et al.*, 2010).

Los sistemas más diversos, permanentes, manejados con tecnologías de bajos insumos obtienen más beneficios de los servicios asociados a una mayor BD que aquellos altamente simplificados, de altos insumos.

Anexo 5.4. La biodiversidad en los sistemas extensivos de La Región Pampeana

Uno de los ejemplos de cómo los diferentes estilos de agricultura pueden tener diferente impacto sobre la biodiversidad, se observa en la Región Pampeana. Esta región sufrió un proceso de agriculturización, de la mano del avance del monocultivo de soja. Esto condujo al predominio de sistemas altamente simplificados, de base puramente agrícola (empresariales) en detrimento de sistemas familiares mixtos de pequeña escala (500 ha o menos), típicos de la región, caracterizados por una diversificación productiva de cultivos y de actividades (agricultura y ganadería pastoril). Iermanó y Sarandón (2011), compararon estas dos situaciones productivas, agrícola empresarial y familiar mixto, desde el punto de vista de la agrobiodiversidad. Se observó que en una misma región, sistemas que producen los mismos cultivos pero con diferentes “estilos” pueden tener un impacto diferencial sobre la biodiversidad. Para ello, se estimó la diversidad cultivada mediante el índice de Shannon (considerando el número de cultivos y la superficie ocupada por cada uno) y de la presencia de borduras, mediante la relación Perímetro/Superficie de cada lote (RPS).

Se observó una tendencia a la presencia de mayor agrobiodiversidad en los sistemas familiares mixtos, respecto de los empresariales (ver tabla 5.3). Esto indica la presencia de lotes con cultivos diferentes y una mayor cantidad de bordes no cultivados. En estos agroecosistemas, la integración con la ganadería y, en consecuencia, la necesidad de una determinada oferta forrajera, establece la incorporación, además de los cultivos agrícolas, de las pasturas perennes y los verdeos. Esto determina la presencia de una mayor diversidad cultivada –pasturas perennes, verdeos, cultivos anuales- y una diversidad asociada -pastizal, vegetación espontánea-, resultando en una mayor agrobiodiversidad (*dimensión genética y específica*). A su vez, promueve un mayor parcelamiento del agroecosistema (*dimensión horizontal*) y la presencia de rotaciones (*dimensión temporal*).

Los autores sugieren que en estos agroecosistemas habría una menor incidencia de las adversidades, dado que hay una menor concentración del recurso alimenticio para las plagas (mecanismo bottom up), una mayor presencia de hábitats alternativos para los enemigos naturales (mecanismo top down) y una menor la posibilidad de que ciertas malezas se conviertan en población dominante, mecanismos que favorecen el proceso de regulación biótica (*dimensión funcional*). Asimismo, una mayor cantidad de cultivos se traducirán en una mayor diversidad beta del agroecosistema (lotes con cultivos diferentes). Así, los beneficios que brindan los sistemas familiares mixtos posibilitan, indirectamente, la provisión de servicios ecológicos que desaparecerían si los sistemas productivos se convirtieran en puramente agrícolas y la producción de carne se hiciese a corral. Por lo tanto, los sistemas familiares mixtos podrían contribuir a la sustentabilidad de la región a través de la conservación y manejo sustentable de la agrobiodiversidad, entre otros recursos.

	Índice Shannon	RPS Promedio (m/ha)	Cantidad de lotes	Sup. promedio por lote (ha)
Mixto F1	1,62	122	16	13,4
Mixto F 2	2,21	115	23	13,7
Agrícola E1	0,69	40	10	100,0
Agrícola E2	0,69	60	20	50,0

Tabla 5.3. Valores de agrobiodiversidad (Índice de Shannon y RPS) en sistemas empresariales (E) y familiares mixtos (F). Fuente: Iermanó y Sarandón (2011) modificado

Conclusiones

La conservación de la BD es actualmente una prioridad mundial. Cumple un rol importante en la estructura y función de los ecosistemas y en los agroecosistemas en particular. Desde el enfoque agroecológico se plantea la biodiversidad como una herramienta para favorecer los procesos ecológicos. De esta manera, las estrategias de diversificación agroecológica proponen el incremento de la biodiversidad funcional a través del rediseño de los sistemas productivos, transformando su estructura y optimizando los procesos claves. Esto requiere, un modelo de agricultura conceptualmente diferente, sobre todo si se quiere reducir el uso de insumos. En este sentido, los estilos de agricultura familiar o de base agroecológica basados en una alta diversidad in situ, pueden contribuir al desarrollo de sistemas de producción sustentables.

Preguntas para el repaso y la reflexión

1. *¿Qué es la biodiversidad? ¿Por qué es importante para la agricultura?*
2. *¿Qué características de la agricultura convencional resultan en una amenaza para la biodiversidad?*
3. *¿Por qué la biodiversidad puede contribuir a la sustentabilidad de los agroecosistemas?*
4. *¿Qué es la agrobiodiversidad y cuáles son sus componentes?*
5. *¿Qué dimensiones de la biodiversidad pueden reconocerse en un agroecosistema?*
6. *¿Cómo puede caracterizarse espacialmente la biodiversidad?*
7. *¿Por qué es importante analizar la biodiversidad en diferentes escalas espaciales?*
8. *¿Cuál es la utilidad de mantener áreas de vegetación seminaturales en el agroecosistema y en el paisaje?*
9. *Mencione 2 estrategias de manejo que permiten aumentar la biodiversidad.*
10. *¿Por qué los sistemas más biodiversos pueden ser más resilientes?*
11. *¿Cuál es la importancia de la valoración adecuada de la biodiversidad?*

12. *¿Cuál es el aporte que hace la diversidad cultural a la diversidad biológica agrícola?*
13. *¿Qué características tienen los estilos de agricultura familiar o de base agroecológica en relación con la diversidad?*
14. *¿Cuáles son las limitantes que existen para potenciar las funciones ecológicas a través de un diseño diverso en un agroecosistema?*

Notas de referencias

(1) La palabra "biodiversidad" se compone de la palabra griega "bios" (vida) y la palabra latina "diversitas" (diversidad o diferencia). De manera general, por consiguiente, biodiversidad quiere decir: diversidad o variedad de la vida. En este texto el término "biodiversidad (BD)" se utiliza más que el de "agrobiodiversidad" para simplificar la lectura. Su utilización esta orientada a entender su importancia y aplicación en los agroecosistemas, más allá de aspectos generales que son igualmente aplicables a los ecosistemas naturales.

(2) En este Capítulo se considera a los "procesos ecológicos" como sinónimo de las "funciones ecológicas". Cuando estos son útiles a la sociedad equivalen a "servicios ecológicos".

(3) Estos últimos términos refieren a los grupos de plantas que diferencian los distintos agricultores agrupándolos bajo un nombre particular con distintos criterios: productivos, ecológicos, utilitarios, entre otros (Bonicatto *et al.*, 2010).

Bibliografía citada

- Altieri MA (1999) The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74: 19-31.
- Altieri MA (2000) Biodiversidad multifuncional en la agricultura tradicional latinoamericana. *Revista LEISLA* 15 (3-4) 14 pp.
- Altieri M & CI Nicholls (1994) *Biodiversity and pest management in agroecosystems*. Haworth Press, New York. 185 pp.
- Benton TG, JA Vickery & JD Wilson (2003) Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? *Trends in Ecology & Evolution* 18(4):182-188.
- Berretta J (2014) La nueva revolución verde. *Revista Tranquera*. Semana del 11 al 17 de enero de 2014. pp. 4-5.
- Bonicatto MM, V Fernández, NA Gargoloff, M Marasas, L Muscio, M Pérez & ML Pochettino (2010) *Sembrando Esperanza*. III Feria Provincial de Semillas Nativas y Criollas. En defensa de la vida de la soberanía alimentaria. Por una economía solidaria, construyendo la casa de todos. Ediciones INTA. Publicaciones IPAF- Región Pampeana, La Plata. 44 pp.

- Bonicatto MM, SJ Sarandón, ML Pochettino & ME Marasas (2011) Criterios locales para la conservación de semillas en agricultores familiares de Argentina. Su importancia para el manejo agroecológico. *Cadernos de Agroecología* 6 (2): 5pp.
- Clergue B, FP Amiaud, F Lasserre-Joulin & S Plantureux (2005) Biodiversity: function and assessment in agricultural areas. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 25: 1-15.
- Deike S, B Pallutt & O Christen (2008) Investigations on the energy efficiency of organic and integrated farming with specific emphasis on pesticide use intensity. *European Journal of Agronomy* 28: 461–470.
- Díaz-Bautista M, BE Herrera-Cabrera, JRM Aliphat-Fernández & A Delgado-Alvarado (2008) Conocimiento campesino en la selección de variedades de haba (*Vicia faba* L.) en la sierra norte de Puebla México. *Interciencia* 33 (8): 610-615.
- Duelli P & MK Obrist (2003) Biodiversity indicators: the choice of values and measures. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 98: 87-98.
- FAO (2013) Statistical yearbook 2013. World Food and Agriculture, FAO, 289 pp. Roma. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/018/i3107e/i3107e00.htm>. Último acceso: diciembre de 2013.
- Ferriol Molina M & H Merle Farinós (2012) Los componentes Alfa, Beta y Gamma de la biodiversidad. Aplicación al estudio de las comunidades vegetales. Artículo docente, Universidad Politécnica de Valencia, pp. 1-10. Disponible en: <http://riunet.upv.es/handle/10251/16285>. Último acceso: agosto de 2013.
- Gabriel D, SM Sait, JA Hodgson, U Schmutz, WE Kunin & TG Benton (2010) Scale matters: the impact of organic farming on biodiversity at different spatial scales. *Ecology Letters* 13 (7):858-869.
- Gajasen J (1995) Energy analysis of wetland rice systems in Thailand. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 52: 173-178.
- Gargoloff NA, P Riat, EA Abbona & SJ Sarandón (2007) Análisis de la Racionalidad Ecológica en 3 grupos de horticultores en La Plata, Argentina. *Revista Brasileira de Agroecología* 2 (2): 468-471.
- Gargoloff NA, SJ Sarandón & C Albaladejo (2011) La entrevista paisajística: un método para situar las prácticas y saberes de los agricultores. *Cadernos de Agroecología* 6 (2):. 5pp.
- Gaston KJ (1996) Biodiversity: a biology of numbers and difference, Blackwell Science. 396 pp.
- Gaston KJ & JI Spicer (2004) Biodiversity. An Introduction. (2ª ed). Blackwell Publishing, Oxford, UK. 208 pp.
- Gliessman SR (2002) Agroecología. Procesos ecológicos en agricultura sustentable. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 359 pp.
- Griffon BD (2008) Estimación de la biodiversidad en agroecología. *Agroecología*, 3: 25-31.
- Iermanó MJ & SJ Sarandón (2009) Aplicación del enfoque de la agroecología en el análisis de los agrocombustibles: el caso del biodiesel en argentina. *Revista Brasileira de Agroecologia* 4 (1):4-17.
- Iermanó MJ & SJ Sarandón (2011) Aplicando la Agroecología en sistemas extensivos de clima templado. Los desafíos de la evaluación y el manejo de la agrobiodiversidad. *Cadernos de Agroecologia* 6 (2):. 5pp.
- Jarvis DI, C Padoch & HD Cooper (2011) Manejo de la biodiversidad en los Ecosistemas Agrícolas. *Biodiversity Internacional*, Roma. 503 pp.
- Klein AM, BE Vaissière, JH Cane, IS Dewenter, SA Cunningham, C Kremen & T Tscharntke (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops, *Proceedings of The Royal Society B-Biological Sciences* 274 (1608): 303-313.

- Koleff P & KJ Gaston (2002) The relationships between local and regional species richness and spatial turnover. *Global Ecology and Biogeography* 11: 363–375.
- Magurran AE (1988) *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, Princeton. 179 pp.
- Marshall EJP & AC Mooney (2002) Field margins in northern Europe: their functions and interactions with agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 89: 5-21.
- Martín-López B, JA González, S Díaz, I Castro & M García-Llorente (2007) Biodiversidad y bienestar humano: el papel de la biodiversidad funcional. *Ecosistemas* 16 (3): 69- 80.
- MASPyMA (2011) Resolución N° 136 del Ministerio de Aguas y servicios públicos y Medio Ambiente de la Provincia de Santa Fé. Dictamen N° 5534/10.
- Matson PA, WJ Parton, AG Power & MJ Swift (1997) Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science* 277: 504-509.
- Nicholls C (2006) Bases agroecológicas para diseñar e implementar una estrategia de manejo de hábitat para control biológico de plagas. *Agroecología* 1: 37- 48.
- Nicholls CI & MA Altieri (2012) Modelos ecológicos y resilientes de producción agrícola para el siglo XXI. *Agroecología* 6: 29-37.
- Noseda C, SJ Sarandón, D Magda, N Girard, G Gonzalez & R Gorriti (2011) Lógica y saberes campesinos en dos localidades ubicadas en la zona Norte del Alto Paraná, Misiones, Argentina: aportes para la producción agroecológica. *Cadernos de Agroecología* 6 (2): 5pp.
- Noss RF (1990) Indicators for Monitoring Biodiversity: a hierarchical approach *Conservation Biology* 4 (4) 355-364.
- Paleologos MF, CC Flores, SJ Sarandon, SA Stupino & MM Bonicatto (2008) Abundancia y diversidad de la entomofauna asociada a ambientes seminaturales en fincas hortícolas de La Plata, Buenos Aires, Argentina. *Revista Brasileira de Agroecología* 3 (1):28-40.
- Pochettino M, V Fernández, NA Gargoloff, L Muscio, L Perez, L González Espinosa, MM Bonicatto, M Pérez, A Cremaschi, E Barreto, MP May, J Cababié, & ME Marasas (2011) I Feria Nacional, IV Feria Provincial de Semillas Nativas y Criollas. "Sembrando Esperanza". Ediciones INTA.- UNLP Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 96 pp.
- Rathke G & W Diepenbrock (2006) Energy balance of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) cropping as related to nitrogen supply and preceding crop. *European Journal of Agronomy* 24: 35-44.
- Sarandón SJ (2002) El agroecosistema: un sistema natural modificado. Similitudes y diferencias entre ecosistemas naturales y agroecosistemas. En: *Agroecología: El camino hacia una agricultura sustentable*. Sarandón SJ Ed, Ediciones Científicas Americanas, La Plata. 6. pp. 119-134.
- Sarandón SJ (2009) Biodiversidad, agrobiodiversidad y agricultura sustentable: Análisis del Convenio sobre Diversidad Biológica. En: *Vertientes del pensamiento agroecológico: fundamentos y aplicaciones*. Siccard TL & MA Altieri, Eds., IDEAS 21, Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA), Bogotá, Colombia. 4. pp. 105-130.
- Sarandón SJ, MS Zuluaga, R Cieza, C Gómez, L Janjetic, E Negrete (2006) Evaluación de la sustentabilidad de sistemas agrícolas de fincas en Misiones, Argentina, mediante el uso de indicadores. *Revista Agroecología* 1: 19-28.
- SCDB (2008) *La Biodiversidad y la Agricultura: Salvaguardando la biodiversidad y asegurando alimentación para el mundo*. Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, Montreal, 56 pp.
- SCDB (2011) Secretaría del Convenio sobre diversidad Biológica: El conocimiento tradicional. Hojas informativas en la serie ABS. Secretaría del Convenio sobre diversidad Biológica.

- Disponible en <http://www.cbd.int/abs/information-kit-es.shtml>. Ultimo acceso: septiembre de 2013.
- SCDB (2013) Secretaria del Convenio sobre Diversidad Biológica Sitio Web del Programa de Diversidad Biológica Agrícola. Disponible en <http://www.cbd.int/agro/>. Ultimo acceso: septiembre de 2013.
- Smith, TM & RL Smith (2007) *Ecología*. 6ª Ed. Pearson educación, Madrid. 776 pp.
- Stupino SA, JL Frangi, SJ Sarandón, MF Arturi & AC Ferreira (2008) Plant diversity in two farm under organic and conventional management in La Plata, Argentina. A case study. *Revista Brasileira de Agroecología* 3 (3): 24-35.
- Stupino SA, SJ Sarandón & JL Frangi (2011) El rol de la vegetación espontánea en sistemas hortícolas de La Plata, Argentina desde la percepción de los agricultores. *Cuadernos de Agroecología* 6 (2): 6pp.
- Swift MJ, MN Izac & M van Noordwijk (2004) Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes—are we asking the right questions? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104: 113–134.
- Tscharntke T, AM Klein, A Kruess, I Steffan–Dewenter & C Thies (2005) Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity–ecosystem service management. *Ecology Letters*: 857–874.
- UNEP (1992) Convention on Biological Diversity. UNEP – Environmental Law and Institutions Program Activity Centre, Nairobi. Disponible en: <http://www.cdb.int>. Ultimo acceso: septiembre de 2013.
- UNEP (1997) The Biodiversity Agenda. Decisions from the third Meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity. 2ª Ed, Buenos Aires, Argentina, Noviembre de 1996. 116 pp.
- UNEP/CDB/COP/5 (2000) The Biodiversity Agenda. Decisiones adoptadas por la conferencia de las partes en el convenio sobre la diversidad biológica en su quinta reunión. Apéndice. Nairobi, 15-26 de Mayo de 2000.
- Vandermeer J & I Perfecto (1995) *Breakfast of biodiversity: the truth about rainforest destrucción*. Food First Books, Oakland. 185 pp.
- Weibull AC, O Ostman & A Granqvist (2003) Species richness in agroecosystems: The effect of landscape, habitat and farm management. *Biodiversity Conservation* 12:1335–1355.
- Whittaker RJ, KJ Willis & R Field (2001) Scale and species richness: towards a general, hierarchical theory of species diversity. *Journal of Biogeography* 28: 453–470.

CAPÍTULO 6

DESARROLLO Y EVOLUCIÓN DE LOS ECOSISTEMAS

Claudia C. Flores y Santiago J. Sarandón

Introducción

En este capítulo abordaremos dos temas hasta ahora reservados, en general, a las ciencias naturales: la sucesión ecológica y la evolución. Ambos temas aparecen en las ciencias agropecuarias desde hace poco tiempo, en un intento de ampliar nuestra comprensión de los procesos que ocurren en los agroecosistemas y para mejorar nuestra capacidad para diseñar y manejar agroecosistemas sustentables.

La evolución y la sucesión ecológica (entendida como el proceso de recuperación del ecosistema luego de una perturbación hasta llegar a un sistema similar al original) son procesos comunes y cotidianos que pasan generalmente desapercibidos, pero que tienen una importancia fundamental a la hora de pensar en el diseño de sistemas agrarios sustentables. De hecho, gran parte de los problemas que los agrónomos enfrentamos, están asociados a nuestro intento de “luchar” contra la evolución y el fenómeno de la sucesión. Un ejemplo del proceso de sucesión es lo que sucede luego de una arada: todos sabemos que el suelo no quedará desnudo por mucho tiempo. A los pocos días aparecerán algunas plantas no sembradas pero que están ahí, que comenzarán a cubrir el suelo. Y, según las características del lugar donde estemos, será el tipo de planta que aparecerá: eso que ocurre, es el inicio del fenómeno de la sucesión.

Dado que el objetivo de la agricultura es, entre otros, la búsqueda de productividad de cultivos y animales (productividad neta de la comunidad: PNC), a través de la transformación de la energía luminosa en productos cosechables, es una condición necesaria mantener los agroecosistemas en etapas sucesionales tempranas (ver Capítulo 4). Para ello, es ineludible realizar

una perturbación del ecosistema para evitar que el mismo se aproxime al clímax o madurez ecológica, etapa en la que la productividad neta de la comunidad es prácticamente nula. La agricultura modifica los ecosistemas naturales al transformarlos en agroecosistemas. Esto no está en discusión. Lo que sí puede y debe discutirse, es el grado de disturbio o alteración que realizamos, por las consecuencias que ello tiene en el funcionamiento del agroecosistema.

Estas perturbaciones pueden tener diferente intensidad, frecuencia y escala, dependiendo del tipo de agricultura que se practique. Así, en el modelo de agricultura convencional (basado en el uso intensivo de combustibles fósiles, insumos químicos y semillas “mejoradas”), los ecosistemas sufren alteraciones muy intensas, en forma casi permanente y en escalas espaciales muy amplias, lo que conduce a un alto uso de insumos externos (con su consecuente gasto de energía y salidas indeseadas de productos peligrosos) y a la degradación de los recursos internos y externos (ver Capítulo 1).

El objetivo de este Capítulo es analizar los fenómenos de sucesión y evolución buscando entender estos procesos para “capitalizar” las características deseables de estadios sucesionales más tardíos, evitando la dependencia de perturbaciones excesivas, en busca de una mayor estabilidad de los agroecosistemas, para disminuir el uso de insumos externos, preservar los recursos productivos y disminuir el impacto ambiental, tal como lo propone el enfoque de la agroecología.

El fenómeno de sucesión en los ecosistemas

En términos generales, se puede definir a la sucesión ecológica como el proceso de desarrollo de un ecosistema a través del tiempo. Todos los ecosistemas, tanto naturales como agrícolas, tienen una tendencia hacia un cambio dinámico en el tiempo, que es consecuencia de fuerzas que irrumpen desde el exterior y de procesos de desarrollo generados dentro del sistema. El término sucesión describe los cambios estructurales y funcionales que

experimenta un ecosistema en el transcurso del tiempo. Por estructura de un ecosistema se entiende a las características del mismo dadas por el tipo de componentes, principalmente vegetación: hierbas, arbustos, árboles y sus abundancia y disposición espacial. Esto es lo que nos permite a simple vista, y sin demasiado conocimiento botánico, reconocer un pastizal, una estepa, una sabana y una selva. Es su estructura, su forma, lo que es diferente. Y esta estructura está asociada a un funcionamiento típico.

¿Qué es la sucesión? Según Odum (1972) la sucesión ecológica se caracteriza por: 1) Ser un proceso ordenado y bastante predecible de desarrollo de la comunidad que comprende cambios en su estructura, 2) Resulta de la modificación del medio físico por la misma comunidad, aunque el medio físico condiciona el tipo y velocidad del cambio y 3) Culmina con un ecosistema estabilizado en el que se mantiene la máxima biomasa por unidad de energía y el óptimo de relaciones simbióticas entre organismos.

Es ordenado y predecible porque una vez que se disturba, por ejemplo con una arada, puedo saber qué tipo de estructura y vegetación encontraré años después. En un lugar donde predomina la selva, encontraré muchos años después la estructura y especies de esa selva. Por el contrario, si disturbo una pradera, por ejemplo en la región pampeana argentina, jamás se transformará, naturalmente, en una selva. En síntesis, puede considerarse que el proceso sucesional es una estrategia de la naturaleza para lograr la máxima protección frente a las perturbaciones, o la mayor homeostasis posible con el ambiente físico (Odum, 1969). Las etapas de desarrollo se conocen como etapas serales y tienen mucho que ver con los sistemas agrícolas, ya que son las etapas permanentes de los agroecosistemas.

La literatura ecológica distingue, dependiendo de las condiciones específicas de sitio al inicio del proceso, dos tipos básicos de sucesión: primaria y secundaria.

La **sucesión primaria** implica el desarrollo de comunidades bióticas a partir de un área estéril, donde las condiciones de existencia no son favorables, en un principio, por la falta de un suelo verdadero (por ejemplo: espacios rocosos que quedan expuestos por la retirada de glaciares, franjas de arenas

expuestas por un cambio de las corrientes marinas y áreas minadas superficialmente de las que ha sido removida toda la capa superficial del suelo).

La ***sucesión secundaria***, es mucho más frecuente en la naturaleza que la primaria. Y es la que interesa a la agronomía. Se inicia en un área donde hubo ocupación previa de organismos vivos, pero que ha sufrido una perturbación por causas naturales (incendios, inundaciones, vientos fuertes) o antrópicas (pastoreo intensivo, desmonte para la realización de agricultura, labranza en campos agrícolas). Una vez acontecida esta perturbación, el ecosistema empieza un proceso de recuperación a lo largo del cual progresa desde comunidades inmaduras, inestables, rápidamente cambiantes, a comunidades más maduras y estables.

La agricultura modifica los ecosistemas naturales para transformarlos en agroecosistemas. La perturbación que necesariamente se realiza para este fin determina el inicio de un proceso de sucesión secundaria.

Inmediatamente después de la perturbación, el sitio es “invadido” por una variedad de plantas y animales que reúnen una cantidad de condiciones que determinan un crecimiento muy veloz y, por lo tanto, una gran capacidad de aprovechar la gran cantidad de recursos que están disponibles después del disturbio (imaginemos un lote luego de una arada). Estas especies (denominadas estrategias “r” o ruderales) se caracterizan por ser especies oportunistas, de nichos ecológicos amplios (ver Capítulo 9), que pueden reproducirse rápidamente cuando existen abundantes recursos (entre otros: agua, luz, nutrientes para especies vegetales o presas para animales) disponibles. Las especies vegetales con esta estrategia, tienen un crecimiento de tipo exponencial, un desarrollo rápido de estructuras vegetativas, alta tolerancia al ambiente, tasas de crecimiento independientes de la densidad de la población (denso independientes), ciclos de vida cortos, altas tasas de mortalidad, reproducción temprana a partir de una alta cantidad de semillas

pequeñas y escasa capacidad competitiva. Muchas malezas que aparecen luego de arar un terreno agrícola, tienen estas características.

A medida que el proceso sucesional avanza, el propio crecimiento y desarrollo del ecosistema genera cambios en el medio físico (por ejemplo, las condiciones de humedad y fertilidad del suelo se modifican a medida que el crecimiento de las especies vegetales y animales consumen el agua y circula y redistribuye los nutrientes) y los recursos disponibles se van tornando cada vez más escasos (aumento de la competencia). Estas modificaciones del medio físico generan nuevas condiciones que van limitando el crecimiento y desarrollo de las especies pioneras, debido a que su capacidad de adaptación y su capacidad competitiva no son suficientes para prevalecer en las nuevas condiciones ambientales existentes en el lugar. Es decir, estas especies cambian las características del lugar y lo hacen menos apto para su éxito reproductivo.

La combinación de especies va cambiando y comienzan a predominar aquellas especies que, por su adaptación, consiguen optimizar los flujos de materia y energía de manera que el trabajo (flujo de energía) por unidad de terreno es máximo. Estas especies (denominadas estrategias K) se caracterizan por tener nichos ecológicos especializados (ver Capítulo 9), por producir pocos descendientes, comúnmente de gran tamaño, invirtiendo grandes cantidades de energía para que la mayoría de ellos llegue a la edad reproductiva. Tienen una tasa de crecimiento de tipo sigmoideo, dependiente de la densidad de población, edad reproductiva más avanzada, un desarrollo lento, vida más prolongada y viven en áreas con condiciones ambientales moderadamente estables. Son considerados organismos “especialistas”, en contraposición a los denominados “generalistas” propios de etapas sucesionales más tempranas.

En el avance de la sucesión, los organismos especialistas, de nichos estrechos, buenos competidores, terminan desplazando a los generalistas, de nichos amplios. En un mundo de recursos escasos, esta es la estrategia adecuada. La “calidad” termina desplazando a la “cantidad”.

Si se permite que transcurra suficiente tiempo después de la perturbación, el ecosistema alcanza un punto donde el ritmo y la naturaleza de los cambios de la mayoría de sus características dejan de ser significativos. En este punto, el ecosistema ha alcanzado su “clímax” o madurez.

Es importante destacar que el proceso de sucesión ecológica ocurre en forma constante y nunca concluye. Esto se debe a las perturbaciones (naturales o humanas) que afectan permanentemente a los sistemas naturales y evitan estancamientos en su desarrollo estructural y funcional. Cualquier factor que altere el ecosistema activa el proceso de sucesión y, aunque se utiliza un sólo nombre para describir el desarrollo ecológico de los ecosistemas, el proceso en realidad incluye una variedad de cambios que ocurren en distintas direcciones (Lugo & Morris, 1982).

A medida que avanza el proceso sucesional, las especies generalistas (estrategas r) son reemplazadas por especies especialistas (estrategas k).

Los cambios en la estructura, funciones y atributos del ecosistemas a lo largo del proceso sucesional.

Durante el proceso de sucesión, ocurren cambios importantes en la estructura y en las funciones de los ecosistemas. Margaleff (1963, 1997) y Odum (1969, 1972) propusieron un número de tendencias generales para caracterizar los cambios en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas a lo largo de la sucesión. Estas tendencias pueden ser sintetizadas en los siguientes aspectos:

- La biomasa, la materia orgánica y la producción se incrementan a lo largo de la sucesión, pero con tasas diferentes, lo que supone una disminución en la relación entre la producción primaria neta y la biomasa (PPN/B). Es decir, la producción por unidad de biomasa disminuye en el tiempo.
- La longitud y la complejidad de las cadenas tróficas se incrementa.

- El número de especies, principalmente de heterótrofos, se incrementa y, a menudo, también la diversidad.
- El reciclado interno de nutrientes se incrementa y su tasa de renovación disminuye.
- Los mecanismos de homeostasis se vuelven más efectivos.

Bioenergía del ecosistema

El primer punto se refiere a los cambios que se suceden en la bioenergía del sistema a lo largo del proceso de desarrollo: en las **fases tempranas de la sucesión** la fotosíntesis total o productividad primaria bruta (PPB), supera a las tasas de respiración (R) de la comunidad (autótrofos y heterótrofos), de modo que la relación **PPB/R es, por lo general, mayor a 1**. Hay, por lo tanto, acumulación de biomasa (el sistema crece) y **la producción neta de la comunidad (PNC)** a lo largo de un ciclo anual será muy alta en las primeras fases de la sucesión. Por tanto, existirá un alto potencial de extraer biomasa en productos de cosecha vegetales (autótrofos) o animales (heterótrofos). Esta es la situación en que se encuentran los agroecosistemas. Es importante no confundir biomasa con productividad. Un sistema maduro tiene alta biomasa (porque la ha acumulado a través de los años) pero no tiene productividad (aumento de biomasa por unidad de tiempo). Un sistema juvenil, por el contrario, tiene alta productividad, pero puede no tener aun alta biomasa: (Ej.: un bosque joven).

A medida que avanza el proceso sucesional, la respiración aumenta a un ritmo mayor que la PPB por lo que, en **etapas tardías de la sucesión**, la relación **PPB/R tiende a 1**. En consecuencia, en las fases maduras de la sucesión la PNC (autótrofos + heterótrofos) es muy baja o tendiente a cero.

En la medida que la tasa de producción supera a la de la respiración, la biomasa (B) y la materia orgánica se acumulan en el sistema, por lo que la relación PPN/B (productividad por unidad de biomasa) tenderá a disminuir y la relación B/E (biomasa fijada por unidad de energía) tenderá a aumentar a medida que progresa el fenómeno sucesional. Estos cambios en la

productividad bruta, productividad neta de la comunidad, la biomasa y la respiración a lo largo del proceso de sucesión pueden ser visualizados, de manera simplificada, en la Figura 6.1.

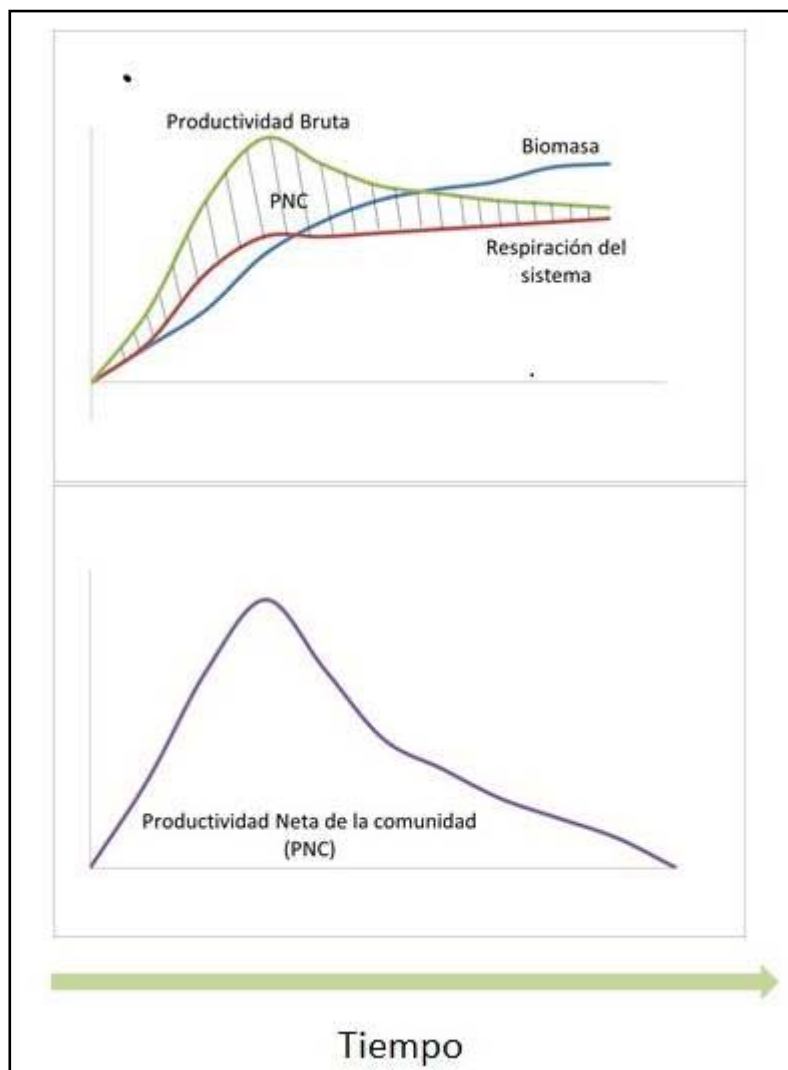


Figura 6.1: Cambios en la productividad bruta, productividad neta, biomasa y respiración en un sistema idealizado a través del tiempo

Longitud y complejidad de las cadenas tróficas

A lo largo del proceso de sucesión, el patrón de funcionamiento de las cadenas alimenticias sufre importantes cambios. En las etapas juveniles de la sucesión, las cadenas alimenticias suelen ser simples, predominando las iniciadas en los pastos (vegetación-herbívoro-carnívoro). A medida que el

proceso avanza, las cadenas se van volviendo más complejas para convertirse, en las etapas de mayor madurez, en redes complejas, en las que predominan las cadenas de los detritos (la mayor parte de lo consumido proviene de materia muerta a través de mecanismos lentos y complejos).

Odum (1969) señala que el tiempo que requiere una sucesión ininterrumpida facilita el establecimiento de asociaciones muy profundas y adaptaciones mutuas entre vegetales y animales lo que conduce al desarrollo de tejidos no digestibles (como celulosa y lignina) que reducen la posibilidad de pastoreo, el control por retroalimentación de plantas y herbívoros y la presión de los depredadores sobre los herbívoros. Estos mecanismos permiten a la comunidad biológica mantener una estructura orgánica compleja y de gran tamaño, que atenúa las perturbaciones del entorno físico.

Como señala Odum (1972) los sistemas jóvenes se caracterizan por la “cantidad”, mientras que los maduros se caracterizan por la “calidad” y el control de la retroalimentación. Un ejemplo de esto es la composición de los tejidos vegetales que en especies de los estadios maduros desarrollan defensas contra los organismos consumidores por medio de estructuras (espinas, pelos, tricomas, entre otras) o sustancias complejas, tóxicas o poco digeribles, (taninos, glucosinolatos, alcaloides, glicósidos, terpenos). Según Lugo & Morris (1982), durante la sucesión se reemplazan plantas de rápido crecimiento de estructuras “baratas”, por plantas con crecimiento lento de estructuras de alto costo de construcción, pero estables, es decir, de mejor “calidad”.

Aumento en la diversidad de especies

La biodiversidad en los agroecosistemas ha adquirido, en estos últimos años, una importancia creciente por sus características de ser proveedora de bienes y servicios esenciales para la agricultura y el funcionamiento de los agroecosistemas (Swift *et al.*, 2004). Especialmente para agricultores de escasos recursos (ambientales y económicos) la agrobiodiversidad podría proveer muchas funciones y evitar, de esta manera, el uso de insumos costosos y peligrosos. Entender la relación entre la sucesión y la biodiversidad

es, por lo tanto, esencial. Los cambios que ocurren en la diversidad a lo largo del proceso de sucesión son, sin duda, los que han generado una mayor controversia entre los ecólogos que se han abocado al desarrollo de la teoría sucesional. Si bien la mayoría de los autores sostiene que la diversidad de especies tiende a incrementarse a medida que avanza la sucesión, no existe certeza que los cambios en la diversidad sigan un mismo patrón en todos los ecosistemas.

Según Odum (1969), lo más probable es que durante la sucesión se produzca un aumento en el número de especies, junto con la ausencia de una especie o grupos de especies dominantes. Sin embargo, puede suceder que algunos cambios de la comunidad generen tendencias contrarias.

La diversidad de heterótrofos se incrementa sustancialmente a medida que avanza el proceso sucesional. Sin embargo, la máxima diversidad de autótrofos, en muchos ecosistemas, se alcanzaría al inicio de la sucesión (Odum, 1998). El aumento del tamaño de los organismos junto con el aumento en la complejidad y duración de sus ciclos vitales y el aumento de la competencia entre especies pueden llegar a reducir el número de especies que pueden vivir en un área dada durante las etapas tardías de la sucesión. “Por lo tanto, el que la diversidad de especies siga aumentando o no durante la sucesión, depende del aumento de los nichos potenciales que resulten del aumento de la biomasa, de la estratificación y de que otras consecuencias de la organización biológica contrarresten las desventajas del aumento de tamaño y competitividad” (Odum, 1969).

Esto significa que el mismo proceso de sucesión puede generar potencialmente un aumento en el número de nichos (recursos y condiciones) que podrán ser luego “colonizados” por otros organismos.

Reciclado de nutrientes

A medida que avanza el proceso de sucesión, los ciclos de los nutrientes tienden a cerrarse ya que los sistemas maduros tienen una mayor capacidad de captar y mantener los nutrientes que circulan por el sistema. En las fases

tempranas, en cambio, el menor volumen de vegetación implica una pérdida mayor de nutrientes (por escorrentía, lixiviación y volatilización). Es decir, los ciclos de nutrientes en estos sistemas sucesionales tempranos son más abiertos, por lo necesitan, para mantenerse, un incremento en el desgaste de la roca o aportes externos de nutrientes. Este es el caso de los sistemas agrícolas en donde, además, las sucesivas cosechas provocan una salida constante de nutrientes del sistema que, en general, no retornan al mismo (ver Capítulo 8).

Estabilidad u homeostasis

A pesar de la complejidad de los cambios estructurales y funcionales que interactúan durante el desarrollo del ecosistema, no hay dudas de que el proceso de sucesión conduce a una mayor interacción entre los organismos, a una mayor conservación de los nutrientes y a un mayor orden del sistema, lo que incrementa su estabilidad.

A medida que avanza el proceso sucesional hay un aumento de la biodiversidad que conduce a una mejor prestación de los servicios ecológicos que brinda la misma y, en consecuencia, a una mayor estabilidad y resiliencia.

El factor tiempo en la sucesión

Si bien los cambios estructurales y funcionales, anteriormente descriptos, parecen ser independientes del lugar geográfico o del tipo de ecosistema, la estructura de la comunidad y el medio ambiente físico afectan tanto el tiempo requerido para alcanzar el clímax como la estabilidad relativa del mismo (Odum, 1998). La velocidad de crecimiento de los sistemas ecológicos, la diversidad de especies y su productividad primaria están limitados por:

- La distribución de los recursos (agua, luz y nutrientes, entre otros).
- Las condiciones edafo-climáticas.
- La cantidad de energía solar que llega al sistema.

- La capacidad del sistema para utilizar esa energía y los otros factores limitantes en forma rápida y eficaz.

Los tres primeros factores van limitando, inexorablemente, el desarrollo ecológico y, por lo tanto, es imposible pensar tanto en el crecimiento indefinido de los ecosistemas como en extender los límites de desarrollo y funcionamiento que la naturaleza ha impuesto a sus sistemas naturales (Lugo & Morris, 1982).

La hipótesis de la perturbación intermedia

Existen ecosistemas que nunca alcanzan la madurez total porque están sometidos a ciertas perturbaciones intermedias. En muchos casos, este puede ser el estado de algunos agroecosistemas, por lo que su estudio puede ser de utilidad para un manejo sustentable.

La hipótesis de la perturbación intermedia (en inglés, *intermediate disturbance hypothesis*) fue descrita por primera vez por Connell, en 1978, tomando como base los mecanismos que permiten el mantenimiento de la diversidad en los bosques tropicales y arrecifes de coral. De manera simplificada, esta hipótesis sostiene que en los ecosistemas maduros, la presencia de perturbaciones intermedias permite mantener niveles de biodiversidad y productividad mayores a los que habría en ausencia de dichas perturbaciones. Recordemos que una de las características de los ecosistemas maduros es que la productividad neta de la comunidad es casi nula. La perturbación en estos sistemas mantiene una alta productividad neta de la comunidad (PNC) asociada a etapas sucesionales tempranas. Además, estas perturbaciones permiten que el ecosistema mantenga una diversidad de especies, estabilidad y una eficiencia en el uso de la energía semejante a un ecosistema maduro.

Estudios más recientes sugieren que las consecuencias de la perturbación intermedia pueden ser mucho más amplias y de mayor alcance de lo que se pensaba y provocar efectos sumamente importantes para la biodiversidad de los ecosistemas. Roxburgh *et al.* (2004) demostraron que las perturbaciones intermedias articulan diferentes mecanismos que pueden

permitir la coexistencia de muchas especies, más de las que existirían en ausencia de estas perturbaciones. Estos mecanismos pueden ser fenómenos como dispersión, recolonización y competencia, que pueden resultar en un incremento de la diversidad (Kadmon & Benjamini, 2006).

Cuando las perturbaciones intermedias se distribuyen irregularmente en el tiempo y en el espacio conducen a los que se denominan paisajes fragmentados. En estos coexisten, simultáneamente, varias etapas de la sucesión en un área relativamente pequeña, lo que contribuye al mantenimiento de una elevada diversidad a nivel de ecosistema.

Actividad agropecuaria y sucesión

El impacto del modelo de agricultura convencional sobre el proceso sucesional. Sus consecuencias.

Analizando los conocimientos sobre el fenómeno de la sucesión se puede advertir, rápidamente, la contradicción existente entre los objetivos del ser humano y los “objetivos” de la naturaleza. La estrategia del modelo agrícola de la Revolución Verde ha sido, hasta la actualidad, la de maximizar el rendimiento por unidad de área a los menores costos económicos posibles. La estrategia de la naturaleza (a través de la sucesión) es la de tender al aumento de la autoorganización, la complejidad y a maximizar la cantidad de vida sostenida por unidad de energía recibida, lo que va acompañado de una inversión cada vez mayor de la energía disponible para mantener el sistema (Frangi, 1993).

La producción primaria bruta (PPB) es generalmente mayor en los ecosistemas naturales que en los agroecosistemas, mientras que en estos últimos es mayor la producción neta de la comunidad (PNC). Esto quiere decir que los ecosistemas complejos, como aquellos en etapas avanzadas de la sucesión, son muy eficientes en la captura de la energía. Como señala Odum, (1972) la naturaleza optimiza la producción bruta, y el hombre la neta. Para lograr el objetivo de alto rendimiento (alta PNC) se ha considerado necesario la

simplificación de la naturaleza a través de la disminución en el número de especies, la simplificación de la estructura y de las interrelaciones de los ecosistemas y la utilización de organismos de ciclos biológicos más cortos con una alta partición de biomasa a los órganos de interés agronómico (índice de cosecha). Esta simplificación permite lograr un aumento del cociente Productividad/Biomasa a lo largo de los procesos productivos (tendencia inversa a la tendencia sucesional). Imaginemos un cultivo de maíz al mes de sembrado. Todos son tejidos verdes que fotosintetizan activamente: por lo tanto, la productividad por unidad de biomasa es altísima si la comparamos, por ejemplo, con un árbol maduro, donde sólo fotosintetizan las hojas. Sin embargo, ello implica reemplazar las propiedades que le confieren estabilidad al sistema, por un alto subsidio energético y material (uso de semillas o razas de ganado mejoradas, control de plagas, enfermedades y patógenos a través de agroquímicos y labores culturales, fertilización, riego, entre otros). Según Cox (1984) la reinversión de energía en el funcionamiento del sistema, que se efectúa en los ecosistemas maduros, debe ser reemplazada en los agroecosistemas por la economía humana la que, a través de labores e insumos (energía), restituye estas propiedades de los ecosistemas. En otras palabras, el hombre, para cumplir con su objetivo productivista “debe efectuar las tareas que realizaban los organismos en el ecosistema y por las cuales eran entonces “recompensados” por un salario energético” (Frangi, 1993). Y ese reemplazo de tareas por energía fósil y agroquímicos, que hace muchos años no constituía una preocupación, hoy es analizado con gran preocupación e interés por los altos impactos externos e internos al sistema que provoca y los costos que representa (ver Capítulo 1).

Para lograr rendimiento (alta productividad neta de la comunidad) el hombre simplifica la biodiversidad en los agroecosistemas a costa de la pérdida de estabilidad y resiliencia.

Diferentes tipos de agroecosistemas y “posición sucesional”.

Diferentes sistemas de producción agrícola, pueden tener una diferente “posición sucesional” hipotética. De alguna manera, una secuencia de sistemas productivos puede compararse con una sucesión natural (Figura 6.2). Es importante tener en cuenta que la agricultura no es más que la modificación de los ecosistemas naturales con el fin de producir bienes y servicios. El agricultor es quien decide el “diseño” a emplear, que consiste en la distribución en el tiempo y el espacio de los componentes (vegetales y animales) de su sistema. Esta estructura que se genera en la finca o en el predio o parcela, semeja la estructura de diferentes etapas sucesionales. Según Frangi, (1993) el nivel de madurez en el cual se posiciona un sistema productivo está predeterminado por la estrategia ecológica o sucesional del cultivo en cuestión. Así, los cultivos anuales se parecen a las plantas pioneras de la sucesión y los árboles se asemejan a etapas avanzadas o maduras de la misma. Muchas malezas también son plantas de las primeras etapas de la sucesión (estrategas *r*) y es por esta razón que reaparecen sistemáticamente cuando se deja de controlarlas (Frangi, 1993).

En los agroecosistemas que han sido diseñados y se pretenden mantener con características de etapas muy tempranas, (por ejemplo un monocultivo de granos u hortalizas anuales) hay mayor necesidad de uso de insumos, asociados a un sinnúmero de tareas necesarias durante todo el ciclo del cultivo. En sistemas que semejan a etapas más tardías, como en el caso de plantaciones de árboles de maderas blandas, los costos de manejo se restringen a las fases de implantación y cuidado temprano del monte y, unos años más tarde, a las tareas de cosecha. Por esta razón, resulta menos “costoso” en energía y materiales manejar un monte en estado avanzado, que un cultivo anual. Asimismo, la necesidad de uso de insumos, en cada una de estas situaciones, estará vinculada con el bioma original de la Región donde se ubica el agroecosistema: cuanto más se “aleje” (más difiera estructuralmente) el agroecosistema de las características del bioma original, mayor será la necesidad de uso de insumos.

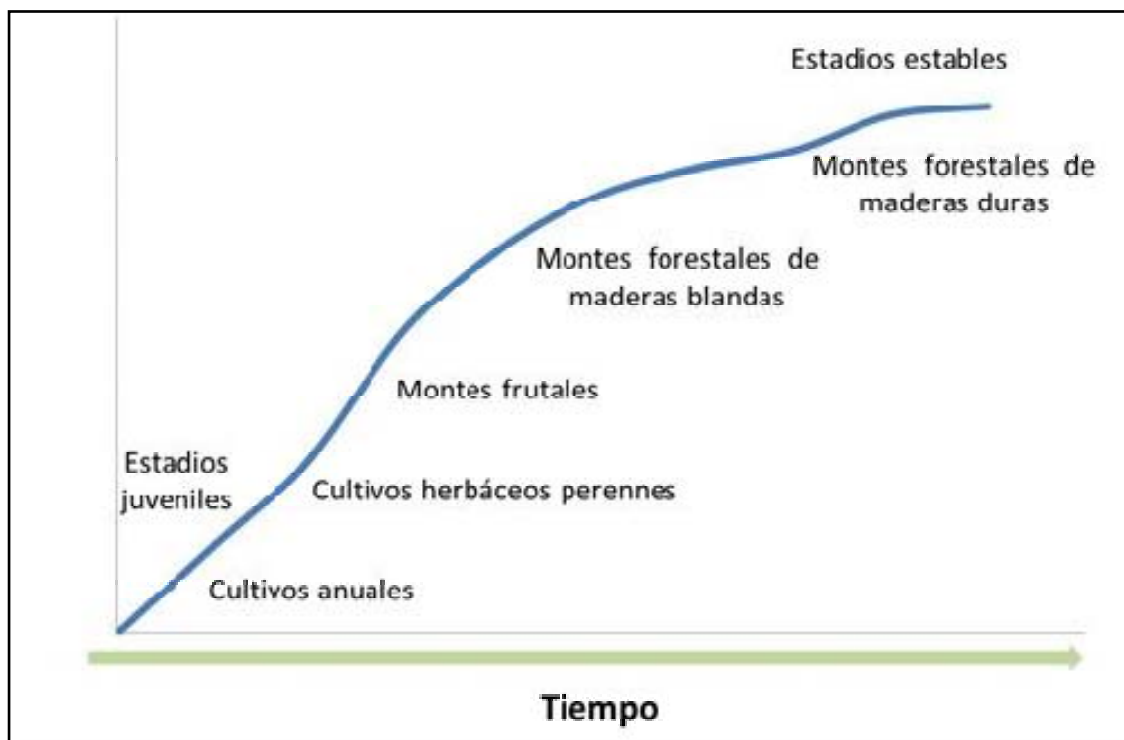


Figura 6.2: Posición sucesional hipotética de distintos sistemas productivos en relación con las características ecológicas de los organismos cultivados o utilizados

Cuando se “progresar” de sistemas de manejo tales como la extracción selectiva de maderas valiosas del bosque nativo, hacia los cultivos de grano, se sacrifican aquellas propiedades que le confieren estabilidad al sistema y, por lo tanto, aumentan tanto la necesidad de subsidios de materia y energía por unidad de área, como los impactos potenciales sobre el ambiente. Este es el caso típico del desmonte del monte natural en el Norte Argentino (por ejemplo, Salta) para la implantación del cultivo de soja transgénica. La estructura de estos dos sistemas es tan diferente, que no es difícil advertir o predecir los costos (insumos, energía) que implicarán mantener este sistema.

El enfoque agroecológico: la aplicación de la teoría de la sucesión al manejo de los agroecosistemas.

A pesar de la importancia que tienen los conceptos de la sucesión ecológica para el manejo sustentable de los agroecosistemas, es muy poco aún lo que se conoce sobre esta temática aplicada a los sistemas agrícolas. En los últimos años, ha surgido una revalorización de la potencialidad que tienen estos conocimientos para el estudio, diseño y manejo de los agroecosistemas. La Agroecología como campo disciplinar emergente, ha comenzado a abordar este desafío.

A diferencia del enfoque prevaleciente en la Revolución Verde, que pretendía “dominar” la naturaleza y modificarla para expresar el “potencial” de rendimiento de las variedades mejoradas, la Agroecología propone la idea de: “imitación de la naturaleza”. Esta propuesta radica en planificar agroecosistemas que usen como modelo los procesos sucesionales que ocurren en el lugar (Soule & Piper, 1991, citado en Gliessman, 2002). Esto consiste en diseñar los sistemas para integrar componentes de manera tal de mejorar la eficiencia biológica, preservar la biodiversidad y la productividad del agroecosistema y conservar su capacidad de automantenimiento. El objetivo es diseñar un agroecosistema que “imite” la estructura y función de los ecosistemas naturales locales; esto es, un sistema con una alta diversidad de especies y un suelo biológicamente activo; un sistema que promueva el control natural de plagas, el reciclaje de nutrientes y una alta cobertura del suelo que prevenga las pérdidas de recursos edáficos (Altieri, 2002).

En este enfoque se trata de imitar a las etapas sucesionales naturales a través de la incorporación de plantas, animales, estrategias y prácticas que promueven el desarrollo de las interacciones y componentes del agroecosistema (Gliessman, 2002). Es decir, que cada diseño deberá ajustarse a la región en particular y el bioma al que pertenece. Esta idea ha sido también señalada por Gliessman (2002) como una estrategia para la recuperación o restauración en agroecosistemas degradados por años de agricultura.

En aquellos casos en donde el estado climáxico se caracteriza por sistemas con una alta proporción de especies leñosas, la estrategia podría ser la siembra de un cultivo anual (que se comporta como una especie pionera en la sucesión) que se reemplaza luego con un policultivo de especies anuales (diferentes a las de la etapa pionera) que contribuirían a iniciar el proceso de recuperación; la secuencia puede proseguir con la incorporación de cultivos perennes de ciclo corto para incorporar luego cultivos perennes de ciclos más largos (principalmente árboles con cultivos anuales intercalados).

En aquellos casos donde el estado climáxico es un pastizal, se podría utilizar el uso del modelo sucesional para diseñar sistemas que incorporen especies herbáceas perennes en la secuencia; tal podría ser el caso de una secuencia cultivo de grano, policultivos de especies anuales, sistemas ganaderos en base a pasturas polifíticas implantadas para culminar con sistemas de producción animal en base a especies herbáceas nativas.

Una vez que se ha logrado crear el sistema adecuado a cada zona, la estrategia de manejo más adecuada sería reintroducir en el agroecosistema perturbaciones controladas y localizadas basadas en la teoría de la perturbación intermedia. De acuerdo a esta teoría, se podrían disturbar parches relativamente pequeños para volverlos a las etapas iniciales (lo que permitiría la siembra de cultivos anuales), buscando lograr una mezcla de etapas de desarrollo iniciales y avanzadas de la sucesión o un mosaico sucesional. En este sentido, el uso de rotaciones debidamente planificadas aparece como una herramienta necesaria para el manejo sustentable del agroecosistema.

Este manejo controlado de las perturbaciones que se llevan adelante en los agroecosistemas permite mantener una alta productividad neta y “capitalizar” las características deseables de estadios sucesionales más tardíos (Figura 6.3), confiriendo una mayor estabilidad de los agroecosistemas, lo que permite disminuir el uso de insumos externos, preservar los recursos productivos y disminuir el impacto ambiental externo.

Sin embargo, la idea de imitar a los sistemas naturales en etapas sucesionales tardías no implica, necesariamente, conducir un proceso de sucesión artificial similar al que tendría lugar en condiciones naturales. Por otra

parte, como señala Ghera (2005), no necesariamente la sucesión secundaria luego de años de agricultura tiende al sistema natural climáxico del lugar, como ocurre en la región Pampeana Argentina. Lo que se trata es de incorporar un arreglo de componentes que favorezca las interacciones positivas entre estas poblaciones para optimizar los procesos y funciones que presentan los sistemas más complejos. Incluso la productividad, medida a nivel del agroecosistema, es mayor en sistemas más diversos que en sistemas simplificados como lo ha comprobado el trabajo de Héctor *et al.*, (1999) en Europa, quienes demostraron que una consecuencia de la disminución de la diversidad, es una menor productividad total del sistema. Esto explica también las razones del uso de sistemas diversificados, agroforestería o de policultivos o cultivos múltiples por muchos agricultores en varias partes del mundo (ver Capítulo 13).

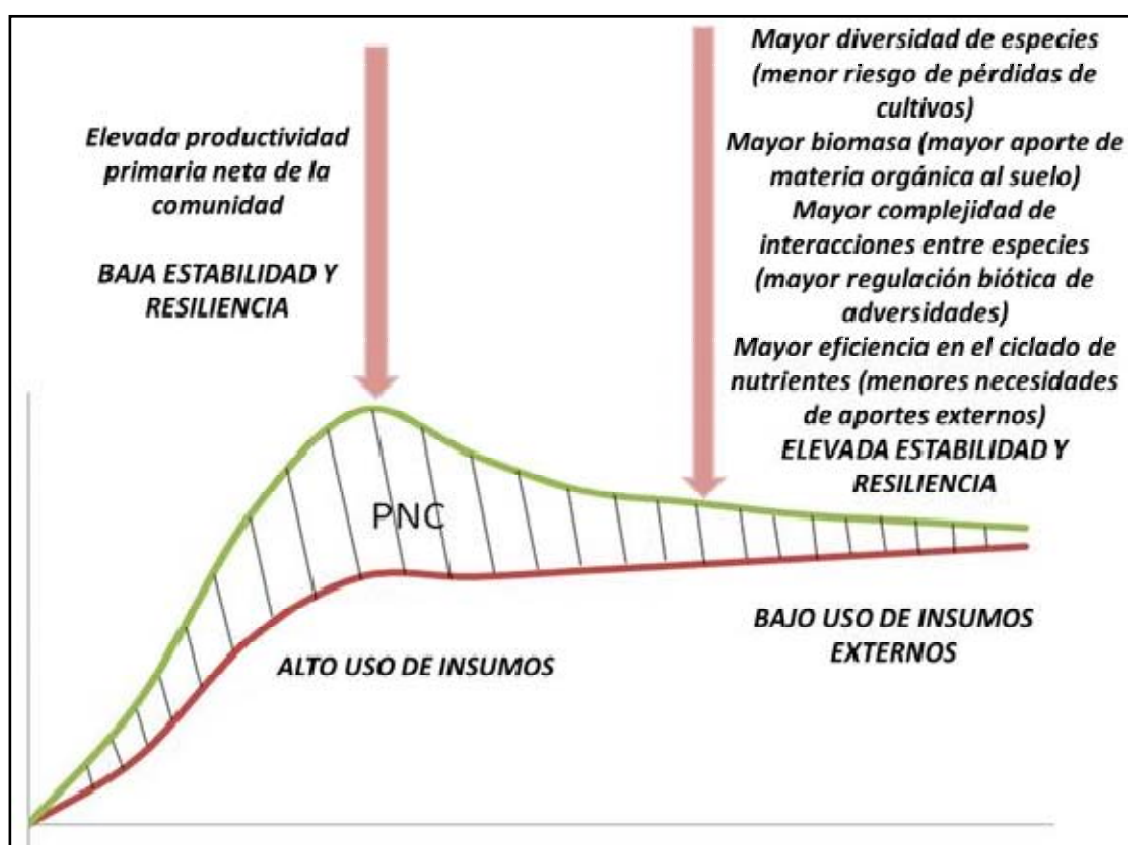


Figura 6.3. Características ecológicas deseables de los agroecosistemas, en relación con el desarrollo sucesional

A pesar que aún queda mucho por conocer, la comprensión y el estudio de los fenómenos de la sucesión en ecosistemas naturales y sus características particulares en los agroecosistemas, relacionadas con la productividad, demanda de insumos, estabilidad y resiliencia, son esenciales para el logro de agroecosistemas sustentables.

La Evolución en los Agroecosistemas

En una primera impresión, el término evolución no nos resulta muy agronómico. Nos remite a la teoría de Darwin del origen de las especies, la selección del más apto o a la idea que el hombre “*desciende*” del mono. Y durante mucho tiempo fue un tema propio de las ciencias biológicas, muy poco estudiado y abordado en la formación de los profesionales de la Agronomía. Sin embargo, en los últimos años su aplicación al campo de la agronomía comienza a ser percibido como una necesidad y una herramienta conceptual para evitar o minimizar las consecuencias del modelo de agricultura moderna y diseñar y manejar agroecosistemas sustentables.

Su importancia surge al percibir, como hemos visto, que la agricultura consiste en modificar los ecosistemas naturales para transformarlos en agroecosistemas con el fin de obtener un producto (bien o servicio) que, de otra manera (naturalmente), no se obtendría. Los agroecosistemas son, por lo tanto, sistemas complejos con un gran número de componentes. Entre estos componentes hay algunos que son puestos por nosotros, domesticados o “mejorados” durante años, y otros que nacen espontáneamente, son silvestres o naturales y que permanentemente están interactuando con nuestros cultivos o animales. Esta interacción entre las poblaciones (especies) silvestres y poblaciones domesticadas (cultivo, ganado) es lo que determina el “éxito” y los niveles de producción que puede obtenerse de un agroecosistema.

A diferencia de las poblaciones domesticadas que son uniformes y seleccionadas por características económicas o de calidad y mantenidas artificialmente por el ser humano (ver Capítulo 4), las poblaciones silvestres

están permanentemente adecuándose a los cambios esporádicos que ocurren en los agroecosistemas. Estas adaptaciones generan, muchas veces, lo que percibimos como la aparición o aumento de la resistencia de plantas y artrópodos (insectos y otros) a los productos que aplicamos. Este proceso, claramente agronómico, está regido por las reglas de la evolución.

En síntesis, el manejo de los agroecosistemas por el ser humano, puede ser entendido como un esfuerzo por mantener (dentro de valores económicamente “rentables”) la productividad de poblaciones domesticadas, ante la presión de poblaciones silvestres “perjudiciales” o plagas. Esta interacción está constantemente bajo la presión de selección de un ambiente cambiante. En este esfuerzo por mantener estas poblaciones perjudiciales bajo control se ha pretendido eliminarlas mediante el uso de pesticidas químicos, con las consecuencias ambientales que todos conocemos (ver Capítulo 1). A pesar de este esfuerzo, estas poblaciones perjudiciales no se han logrado controlar, ni mucho menos; el aumento del número de especies y genotipos resistentes es un grave problema actual. Por lo tanto, entender este mecanismo de adaptación de las poblaciones resulta esencial para un manejo adecuado de los agroecosistemas.

El manejo de los agroecosistemas por el ser humano, puede ser entendido como un esfuerzo por mantener (dentro de valores económicamente “rentables”) la productividad de poblaciones domesticadas, ante la presión de poblaciones silvestres “perjudiciales” o plagas.

A pesar que la idea de evolución está asociada a tiempos geológicos de millones de años, extinción de especies, fósiles, mimetismo, cambio y aparición de formas más adaptadas, en realidad es un proceso natural que está ocurriendo permanentemente en nuestros agroecosistemas. Y nos origina bastantes problemas.

Tratemos, entonces, de entender de qué se trata: ¿Qué es la evolución? La teoría de la evolución mediante la selección natural es una teoría ecológica elaborada por Charles Darwin (1859) y se basa en una serie de proposiciones (Tabla 6.1).

La evolución provoca cambios continuos o favorece ciertas características, permitiendo a las especies o poblaciones adaptarse a su ambiente (o no). En definitiva, la selección natural “elige o favorece” los genotipos mejor adaptados a ese ambiente que, de esa manera, incrementan su proporción en la población.

- 1) Existe variabilidad de individuos dentro de una población.
- 2) Parte de esta variación es heredable.
- 3) Las poblaciones tienen un potencial biológico ilimitado pero, en general, nunca se alcanza, debido a la mortandad. No todos sobreviven.
- 4) Existe entre los diferentes individuos de una población, una diferente capacidad de dejar descendencia.
- 5) Esta capacidad es el resultado de la interacción entre el ambiente y las características del individuo.
- 6) El ambiente puede resultar favorable o no favorable para este fenotipo: “selección del más apto”.
- 7) El mecanismo responsable es la selección natural.

Tabla 6.1: *Postulados que se asumen deben existir para que se produzca el proceso de evolución por selección natural. de Begon et al. (2006), modificado*

En primer lugar, para que haya evolución es necesario que exista una variabilidad: un “pool” genético de donde escoger. La variabilidad es una propiedad de las poblaciones, entendidas como un conjunto de individuos de la misma especie. Todos los individuos de una misma especie comparten características comunes que nos permiten reconocerlos como tal. Pero no todos los individuos son iguales (aunque lo parezcan). Estas diferencias entre individuos de una misma especie pueden ser muy pequeñas o muy importantes, según se trate de poblaciones domesticadas (cultivos, ganado) o poblaciones de especies silvestres. En las poblaciones domesticadas todos los organismos (una variedad de trigo, un híbrido de maíz, un clon de papa) son genéticamente iguales o muy similares (eso es lo que buscamos). Su variabilidad es escasa y, por lo tanto, la capacidad de adaptación de esa población domesticada es muy baja. Baste recordar el efecto devastador que

tuvieron, hace muchos años, algunas enfermedades en los cultivos de papa en Irlanda y de maíz en Estados Unidos, (ver Capítulo 1). Por el contrario, las poblaciones silvestres tienen una altísima capacidad de adaptación dada por su gran variabilidad, su “pool” genético, en permanente cambio. A mayor variabilidad, mayor capacidad de adaptación. Por lo tanto, en esta interacción permanente entre nuestras poblaciones domesticadas y las poblaciones silvestres (plagas), nuestros cultivos y ganado llevan las de perder.

Otra premisa que debe cumplirse para que haya evolución es que estas diferencias entre individuos se deban a su genética y no al ambiente y por lo tanto sean heredables. Gran parte de las características lo son.

Otro aspecto importante a tener en cuenta, a veces poco percibido, es que las poblaciones, las especies (domesticadas y silvestres) que componen nuestro agroecosistema, tienen un potencial biológico que nunca alcanzan. El **potencial biológico** es la capacidad teórica de reproducirse. Esto tiene que ver con la cantidad de descendientes que esa especie puede dejar en una generación y el número de generaciones que puede tener en un período determinado de tiempo. A mayor cantidad de descendencia y menor tiempo por generación, mayor será su potencial biológico. Por ejemplo, una población de microorganismos o bacterias, o de muchas de las especies de insectos plagas de nuestros cultivos, tiene un potencial biológico mucho mayor que una de ovejas, vacas o de olivos. Sin embargo, por más alto que este sea, nunca se alcanza esta cifra teórica. No todos sobreviven, no todos se reproducen, hay una gran mortandad. Solo los más adaptados lo hacen, esto es la “supervivencia de los más aptos”: no todos tienen la misma capacidad de dejar descendencia; algunos individuos mueren y otros disminuyen su tasa reproductiva. Y esto es lo que definirá las características de esa población para la próxima generación. Es una batalla por los genes. Los mejores adaptados al ambiente, dejarán más cantidad de genes para la próxima generación. Y esta nueva conformación genética de la población provocará un diferente comportamiento respecto a la anterior y, teóricamente, una mejor capacidad de adaptación al nuevo ambiente. Y si este nuevo ambiente está generado por la aplicación de un producto químico como un insecticida o un herbicida, entonces

la próxima generación tendrá una mayor resistencia a este producto. Y la aplicación de la misma dosis, dejará una mayor cantidad de supervivientes que la anterior generación y así sucesivamente. Esto es lo que está ocurriendo en nuestros agroecosistemas; la teoría de la evolución en plena actividad.

Sin embargo, no todas las poblaciones tienen la misma capacidad de adaptarse a los cambios. Como agrónomos hemos podido ver como, desde la implementación del modelo de agricultura moderna basado en el uso masivo de insumos químicos, las especies resistentes a insecticidas, fungicidas y herbicidas han ido en aumento y, en los últimos años, de manera exponencial. Hoy constituye una seria preocupación la adquisición de resistencia de muchas especies de malezas al herbicida más utilizado en nuestro país, el glifosato. Por esta razón, es muy importante analizar cómo debe ser el manejo para evitar o disminuir la aparición de especies o variedades resistentes. Nuestra capacidad para diseñar o manejar agroecosistemas que minimicen la aparición de genotipos resistentes, depende de nuestra comprensión de los mecanismos que generan la resistencia. Esto depende, en gran medida, de la capacidad de una población de adaptarse a los cambios (bióticos o abióticos) del ambiente, la que esta asociada a varios factores (Tabla 6.2)

- 1) La base genética de la población (pool genético). Es la base de la selección.
- 2) Intensidad o “presión de selección” (directamente proporcional a la velocidad de cambio).
- 3) El tiempo durante el cual se mantiene esta presión.
- 4) El potencial biológico de la población. Número de descendientes y largo de los ciclos de vida. Número de generaciones por unidad de tiempo.
- 5) La competencia o superposición de nichos con otras poblaciones.

Tabla 6.2: Aspectos a considerar para evaluar la capacidad de una población de adquirir resistencia a las medidas de control

El primer punto, ya analizado, descansa en la amplitud de la **base genética** de esta población. Es el secreto del éxito: su capacidad de adaptación, de supervivencia; mientras más amplia esta base, mayor la

cantidad de genotipos que contiene, mayor será la probabilidad de que alguno de ellos sea resistente o tolerante (por razones morfológicas, fisiológicas, fenológicas, etc.) al cambio de ambiente (por ejemplo la aplicación de un pesticida) y genere descendientes con esta característica, para la próxima generación. Es importante comprender que la mayor capacidad de algunos individuos de una población a resistir el nuevo ambiente (por ejemplo, un insecticida) es previa e independiente de la aplicación del producto. El insecticida no genera la capacidad de resistir, lo que hace es mostrar, poner en evidencia, esta capacidad que puede estar asociada a características morfológicas (pelos, cutícula), fisiológicas (procesos de detoxificación) o de comportamiento (ocultamiento, búsqueda de refugio) o ciclos más precoces o tardíos que le permitan escapar temporalmente, entre otras características.

La **presión de selección** es el otro factor predisponente, que está asociado a la velocidad de adaptación y cambio de la población. Una alta presión de selección, implica que sobrevivan muy pocos individuos de la población. Es decir, un factor, un cambio ambiental, que genere la mortandad del 90 % de los individuos de una población ejerce una presión de selección mayor que una que cause el 70 % de mortandad. Mientras menos individuos sobrevivan, la posibilidad de que la nueva generación tenga mayor proporción o frecuencia de estos nuevos genes favorables aumenta (Figura 6.4). Un ejemplo de ello es la tecnología de las plantas transgénicas “Bt”, incorporada, entre otros, a las plantas de maíz para hacerlas resistentes (inmunes) al ataque de larvas de lepidópteros, entre ellos el gusano barrenador del tallo (*Diatraea saccharalis*). Esta tecnología produce que la toxina esté presente en todos los órganos de la planta de maíz, durante todo su ciclo de vida. Por lo tanto, ejerce una altísima presión de selección y con ello un gran riesgo de generar resistencia en la población de la plaga. Por ello, teóricamente, la tecnología contempla sembrar el maíz transgénico junto con un refugio (superficie de maíz igual, pero no transgénico), que debería ocupar entre el 10 y 40% de la superficie del cultivo transgénico. Es decir, si se siembran 100 hectáreas de maíz transgénico, deberían sembrarse unas 20 o 40 hectáreas de maíz no transgénico en lotes próximos. Lo que busca esta estrategia es, claramente,

disminuir la presión de selección, provocando la supervivencia de formas susceptibles de lepidópteros que se cruzan con las resistentes. Esto retrasaría entonces, la aparición de poblaciones resistentes.

El tiempo durante el cual el sistema está sometido a una presión de selección es fundamental en la aparición de resistencia. Una alta presión de selección pero durante un corto período de tiempo permite luego recuperar variabilidad en la población y “diluir” el efecto de resistencia. La desaparición del efecto selectivo, favorece que los individuos susceptibles puedan desarrollarse y reproducirse lo que incrementa su presencia en la próxima generación.

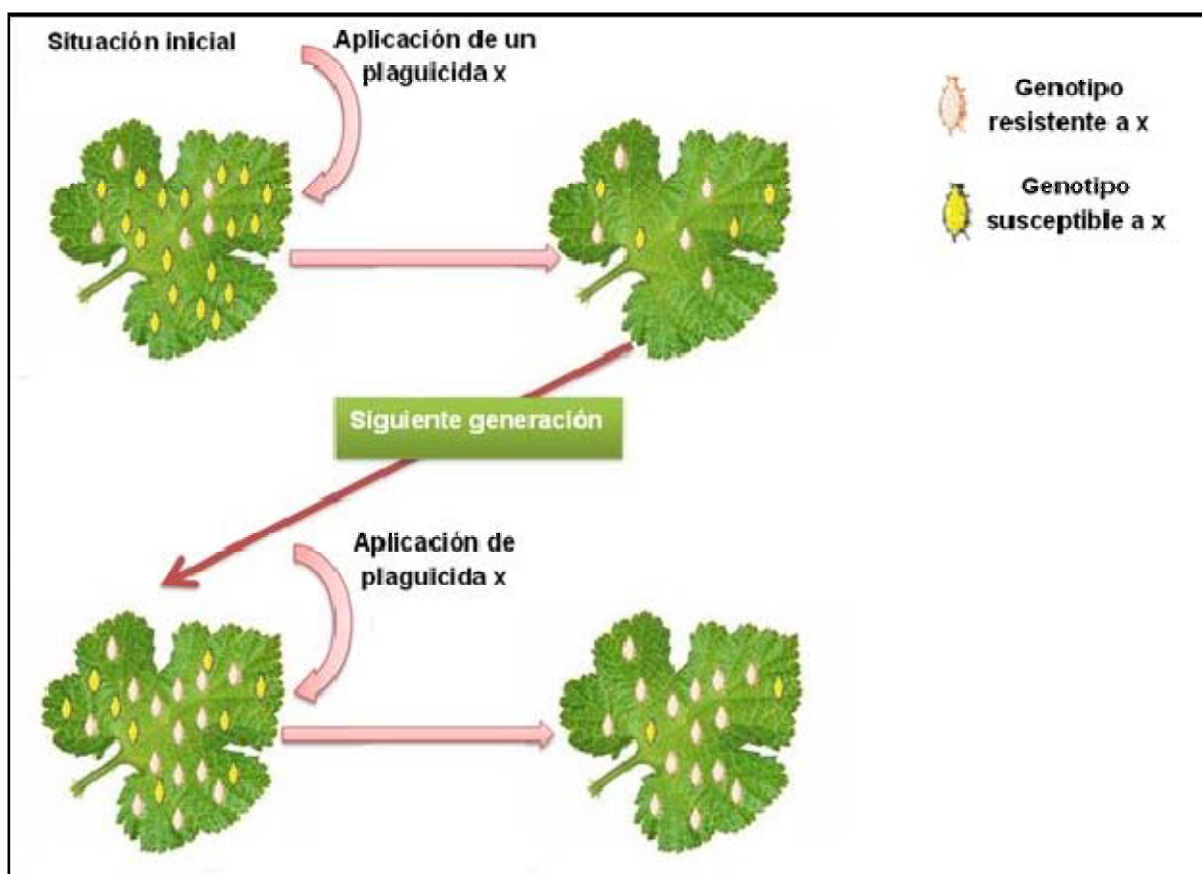


Figura 6.4: Esquema del mecanismo de generación de resistencia

Por el contrario, el mantenimiento del mismo factor de selección (por ejemplo, un mismo pesticida) durante mucho tiempo sólo permite sobrevivir a

las formas resistentes, las que entonces serán dominantes y casi exclusivas tras varias generaciones. Cambiar entonces de producto o de estrategia, es muy importante para evitar la aparición de resistencia. Es justamente lo contrario de lo que sucedió en el caso del paquete tecnológico más usado en la Argentina: Soja transgénica RR + glifosato. Desde que en el año 1996 se liberó en nuestro país, el evento de soja transgénica RR, resistente a la aplicación del herbicida total Glifosato, la aplicación de este producto aumentó considerablemente y constituyó casi la única tecnología utilizada para la implantación y posterior mantenimiento del cultivo de soja libre de malezas. En la actualidad el cultivo de soja abarca 20.000.000 has (veinte millones). Toda esta superficie sometida año tras año a la aplicación de un único herbicida total, provocó lo que era previsible: la aparición de muchas especies resistentes al glifosato, que, de hecho ya necesita ser complementado con otros herbicidas para un control efectivo. Y esto estuvo agravado porque muchos agricultores, aprovechando las características de herbicida total del glifosato, su bajo costo, y una errónea percepción de que toda vegetación espontánea es perjudicial, aprovecharon para “limpiar” los campos, aplicando el herbicida incluso en aquellos sectores como alambrados, caminos, que constituían ambientes seminaturales. La posibilidad entonces de que existieran refugios para formas no resistentes, fue eliminada. Las consecuencias, están a la vista (Anexo 6.1).

Otro aspecto importantísimo a considerar es conocer las características de la población que pretendemos controlar o manejar. Una población que tenga una gran fecundidad, y varias generaciones en un mismo ciclo, como ocurre con varias plagas agrícolas, será mucho más proclive a adquirir resistencia que una que tenga una sola generación anual o pocos descendientes.

Finalmente, para que una forma resistente domine la población debe, además, ser mejor competidora que otras formas o genotipos que pueden existir dentro de esa población y con otras poblaciones.

A mayor intensidad o “presión de selección” por un largo tiempo sobre poblaciones de alto potencial biológico mayor es la probabilidad de generar una población resistente.

Anexo 6.1 Malezas resistentes al glifosato: El “nuevo” escenario que se podría haber previsto

La incorporación de la soja RR (Roundup Ready= resistente al glifosato), en el año 1996, y su expansión masiva en la zona núcleo sojera primero y luego en el resto del país provocó profundas modificaciones en el modelo productivo. El control de malezas quedó supeditado, desde ese momento, casi exclusivamente a la aplicación de glifosato en todas las etapas del cultivo y previas al mismo (barbecho) bajo la promesa, de este herbicida de acción total, de un control absoluto de las mismas.

A partir del 2001 y 2005, respectivamente, se suman los cultivos de algodón y maíz resistentes a este herbicida. En este proceso, el uso del glifosato se ha transformado casi en la única herramienta válida para el control de malezas (en algunos casos mezclados con otros herbicidas como 2,4D, Dicamba o Metsulfuron). Como consecuencia de esto el consumo de glifosato pasó de 20 millones de litros en 1996 a 200 millones de litros en el año 2007.

Paralelamente a la expansión de cultivos RR y el incremento en el uso de Glifosato han aparecido una serie de biotipos de malezas resistentes a este herbicida. El *Sorghum halepense* fue la primera descrita en el año 2005 y desde entonces aparecen, todos los años en diferentes zonas, nuevas malezas: *Lolium multiflorum*, *Lolium perenne* en el sur y norte de la provincia de Buenos Aires y sur de Santa Fe con resistencia múltiple; *Echinochloa colona* en Santa Fe y Tucumán; *Cynodon hirsutum* en el centro de Córdoba y hoy, bajo estudio *Amaranthus quitensis* en Tucumán y Santiago del Estero (Lanfranconi *et al.*, 2013)

Se prevé que otras malezas podrán adquirir resistencia durante los próximos años debido a la gran difusión de los cultivos RR entre los agricultores en América Latina (Puricelli & Tuesca, 2005; Duke & Powles, 2008).

La evolución de biotipos de malezas resistentes al glifosato, por lo tanto, es visto como una amenaza importante para la continuación del uso de la soja RR (Christoffoleti *et al.*, 2007). El desarrollo de biotipos resistentes, también limita el número de opciones de control químico de malezas lo que intranquiliza hoy a agricultores y técnicos “ya que la pérdida de la eficacia de los herbicidas es un fenómeno preocupante debido a que el desarrollo de nuevos productos es muy costoso y un producto nuevo puede tardar mucho en ser aprobado para su uso o simplemente no ser aprobado, mientras que al mismo tiempo se observa una dependencia creciente de la agricultura en los herbicidas, relacionada principalmente con las prácticas de labranza cero” (Comisión Nacional de Investigación por Agroquímicos, 2009).

Sin embargo, esta situación podría haber sido prevista antes de la incorporación masiva del paquete tecnológico Siembra directa-Monocultivos RR-Glifosato. Si hubiésemos pensado en Darwin deberíamos de haber entendido que esta tecnología presiona en la comunidad de malezas, controlando eficazmente a las sensibles y ejerciendo una presión de selección sumamente elevada y en forma sostenida, lo que, sin dudas, iba a conducir indefectiblemente a la aparición de estas malezas (y otras que vendrán a futuro) resistentes. Y hoy, nos estaríamos preocupando por otra cosa...

Conclusiones

La comprensión de los procesos de sucesión y evolución brindan las bases para el diseño de sistemas más estables y resilientes lo que permite reducir el uso de insumos externos, preservar los recursos productivos y disminuir el impacto ambiental de la agricultura.

Preguntas para el repaso y la reflexión

1. ¿Qué es la sucesión ecológica? ¿Qué diferencia hay entre sucesión primaria y secundaria?
2. Complete la siguiente tabla: Calcule la producción neta de la comunidad, la razón RA/PPB, RH/PPB, PPN/PPB y PNC/PPB para los siguientes ejemplos de agroecosistema y sistema natural.

Producción y respiración anuales en Kcal/m ² /año en diferentes ecosistemas en distintas etapas de desarrollo sucesional (en base a datos de Odum, 1972)		
A		B
Producción primaria bruta (PPB)	24400	45000
Respiración autotrófica (RA)	9200	32000
Productividad primaria neta (PPN)		
Respiración heterotrófica natural (RH)	800	13000
Producción neta de la comunidad (PNC)		
Relación RA/PPB		
Relación RH/PPB		
Razón PPN/PPB		
Razón PNC/PPB		

2.1. A partir de cuál o cuáles parámetros usted puede inferir el estadio de desarrollo sucesional (juvenil/maduro) de los sistemas analizados y qué valores generales debería/n adquirir dicho/s parámetros en cada una de esas etapas sucesionales.

2.2. Identifique en base a los valores calculados, cuál sistema corresponde a un ecosistema natural (selva tropical) y cuál a un agroecosistema (alfalfa).

2.3 Teniendo en cuenta la relación RA/PPB calculada ¿Qué características morfo-fisiológicas de la vegetación que compone cada sistema, pueden estar influyendo en los valores obtenidos?

2.4. Analice a expensas de la disminución de cuál o cuáles componentes tróficos del ecosistema se obtiene la PNC en el agroecosistema.

3. El modelo de agricultura convencional busca la máxima productividad neta de la comunidad ¿De qué manera intenta lograr este objetivo?
4. Teniendo en cuenta las características que diferencian las etapas sucesionales tardías y las etapas sucesionales tempranas, analice qué ventajas y desventajas, desde el punto de vista de la sustentabilidad, pueden derivarse de la decisión de buscar la máxima productividad de los sistemas agrícolas.
5. ¿Sería posible compatibilizar el objetivo de obtener producción agrícola con un incremento de la estabilidad y resiliencia de los agroecosistemas? ¿Qué estrategias de manejo podría utilizar para compatibilizar la obtención de bienes ecosistémicos (alimento, fibras naturales) con la optimización de servicios ecológicos (Ej.: regulación biótica)?

6. *Teniendo en cuenta la lectura analice lo siguiente: ¿Tiene similar impacto la realización de un cultivo de maíz en la provincia de Buenos Aires (bioma pastizal) que en la provincia de Misiones (bioma selva)? ¿Dónde será más fácil mantener el sistema con menos insumos y energía?*
7. *¿El uso de un planteo de rotaciones agrícola ganadero es una herramienta favorable, desde el punto de vista sucesional, para el manejo de los agroecosistemas pampeanos? Fundamente.*
8. *¿Qué relación encuentra entre el proceso de sucesión y la biodiversidad y cómo se relaciona esto con la estabilidad de los agroecosistemas?*
9. *¿Qué es la evolución y cual es su importancia para el manejo de los agroecosistemas?*
10. *¿Qué condiciones deben cumplirse para que exista la evolución?*
11. *¿Que diferencia hay en el modo que actúa la evolución en las poblaciones domesticadas y en las poblaciones silvestres presentes en los agroecosistemas?*
12. *¿Cual es la importancia del “pool” genético en la capacidad de adaptación de una población a los cambios ambientales?*
13. *¿Que relación tiene el potencial biológico de una especie con la adquisición de resistencia a plaguicidas?*
14. *¿Donde será mayor el riesgo de una rápida adquisición de resistencia: bajo una alta o una baja presión de selección? De un ejemplo.*

Bibliografía citada

- Altieri MA (2002) Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables. En “AGROECOLOGIA: El camino hacia una agricultura sustentable”. SJ Sarandón (Editor), Ediciones Científicas Americanas, La Plata. 2: 49-56.
- Begon M, C R Townsed & JL Harper (2006) ECOLOGY, From Individuals to Ecosystems, IV Edition, Blackwell Publishing, 350 Main Street, Malden, MA 02148-5020, USA. 759 pp.
- Connel JH (1978) Diversity in tropical rainforests and coral reefs. Science, 199:1302-1310.
- Comisión Nacional de Investigación sobre agroquímicos (2009) Informe de evaluación de la información científica vinculada al glifosato en su incidencia sobre la salud humana y el ambiente. Disponible en: <http://www.msal.gov.ar/agroquimicos/pdf/INFORME-GLIFOSATO-2009-CONICET.pdf>. Último acceso: septiembre de 2013.
- Cox GW (1984) The linkage of inputs to outputs in agroecosystems. In: Lowrance R, BR Stinner & GJ House (Eds). Agricultural Ecosystems: Unifying concepts. J Willey & Sons. New York: 187-208.
- Christoffoleti PJ, MS Moreira, M Nicolai & S Carvalho (2007) Glyhosate resistance in Conyza canadiensis and C. Bonariensis in Brazil. In: Proc of the 47th Meetin of de Weed Sci Soc of America. Lawrence-KS-USA: 47.
- Darwin C (1859) The Origin of Species by Means of Natural Selection, 1st edn. John Murray, London.
- Duke SO & SB Powles (2008) Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. Pest Management Science 64: 319-325.

- Frangi J (1993) Ecología y Ambiente. En: Elementos de política ambiental. F Goin & R. Goñi. Edts. Buenos Aires 15: 225-260.
- Ghersa C (2005) La sucesión ecológica en los agroecosistemas pampeanos: sus modelos y significado agronómico. En La heterogeneidad de la vegetación en los agroecosistemas (Eds: Oestehrhed M, MA Aguiar, CM Ghersa y JM Paruelo), Editorial Facultad de Agronomía de Buenos Aires: 195-214.
- Gliessman SR (2002) Agroecología: procesos ecológicos en la agricultura sostenible. CATIE: Turrialba, Costa Rica. 359pp.
- Hector A, B Schmid, C Beierkuhnlein, MC Caldeira, M Diemer, PG Dimitrakopoulos, JA Finn, H Freitas, PS Giller, J Good, R Harris, P Högborg, K Huss-Danell, J Joshi, A Jumpponen, C Körner, PW Leadley, M Loreau, A Minns, CPH Mulder, G O'Donovan, SJ Otway, JS Pereira, A Prinz, DJ Read, M Scherer-Lorenzen, ED Schulze, ASD Siamantziouras, EM Spehn, AC Terry, AY Troumbis, FI Woodward, S Yachi & JH Lawton (1999) Plant diversity and productivity experiments in European grasslands. *Science* (286):1123-1127.
- Kadmon R & Y Benjamini (2006) Effects of productivity and disturbance on species richness: a neutral model *Am. Nat.* 167(6): 939-946.
- Lanfranconi L, M Bragachini, J Peiretti & F Sánchez (2013) El avance de las malezas resistentes a herbicidas en los sistemas agrícolas. ¿Podremos controlarlas? Disponible en: <http://inta.gob.ar/documentos/el-avance-de-las-malezas-resistentes-a-herbicidas-en-los-sistemas-agricolas.-bfpodremos-controlarlas/> Último acceso: septiembre de 2013.
- Lugo A & G Morris (1982) Los sistemas ecológicos y la humanidad. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington D.C. 81 pp.
- Margaleff R (1963) On certain unifying principles in ecology. *The American Naturalist* 97: 357-374.
- Margaleff R (1997) *Our Biosphere*. O. Kinne editor. Excellence in Ecology Series. Ecology Institute. Oldendorf, Germany.
- Odum EP (1969) The strategy of ecosystem development. *Science* 164: 262-270.
- Odum EP (1972) *Ecología*. Tercera Edición. Editorial Interamericana. México, 639 pp.
- Odum EP (1998) Desarrollo del Ecosistema y Evolución. En: *Ecología: el vínculo entre las Ciencias Naturales y las Sociales*. Compañía Editorial Continental SA. Vigésima reimpresión. México. Cap 6: 185-207.
- Puricelli E & D Tuesca (2005) Weed density and diversity under glyphosate-resistant crop sequences. *Crop Protection* 24: 533-542.
- Roxburgh SH, K Shea & JB Wilson (2004) The intermediate disturbance hypothesis: Patch dynamics and mechanisms of species coexistence. *Ecology* 85(2):359-371.
- Soule JD & JK Piper (1991) *Farming in nature's image*, Washington DC: Island Press. 305 pp. En Gliessman (2002) *Agroecología: procesos ecológicos en la agricultura sostenible*. CATIE: Turrialba, Costa Rica. 359pp.
- Swift MJ, I Amn & M Van Noordwijk (2004) Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes-are we asking the right questions?. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 104:113-134.

CAPÍTULO 7

LA ENERGÍA EN LOS AGROECOSISTEMAS

Claudia C. Flores y Santiago J. Sarandón

Introducción

La energía es el soporte fundamental para la vida en el planeta, en general, y para la actividad agropecuaria, en particular. Básicamente, la función de los ecosistemas naturales y de los agroecosistemas es captar y transformar energía. Sin embargo, existen diferencias sustanciales en los flujos de energía entre ambos tipos de ecosistemas.

En los Ecosistemas Naturales (EN), la energía aportada por el sol es suficiente, en general, para mantener la estructura y complejidad de procesos que ocurren en el mismo, aun en sistemas tan complejos y diversos como una pluviselva tropical. Sin embargo, los Agroecosistemas (AES), requieren el aporte de fuentes adicionales de energía en forma de trabajo humano o de diferentes tipos de insumos. El aporte de energía externa varía con el tipo de actividad y el grado de intensificación de la misma.

La intensificación de la producción agrícola de las últimas décadas, ha significado la necesidad de inversión de cantidades cada vez mayores de energía (generalmente fósil) para aumentar el rendimiento, disminuyendo la eficiencia energética de los sistemas (ver Capítulo 1). El problema surge inmediatamente al comprender que aproximadamente el 85% de la energía mundial es fósil (Figura 7.1).

Este hecho cuestiona la posibilidad de sustentar este tipo de sistemas agrícolas ya que el uso ineficiente de altas cantidades de energía se contrapone con el objetivo de mantener la base de los recursos naturales no renovables, y convierte a los sistemas agrícolas en sistemas dependientes de recursos que, sin dudas, se agotarán en un futuro relativamente inmediato (Anexo 7.1).

El objetivo de este Capítulo es analizar el nexo entre energía y agricultura y considerar las implicancias del mismo con relación a la sustentabilidad de los sistemas agrícolas.

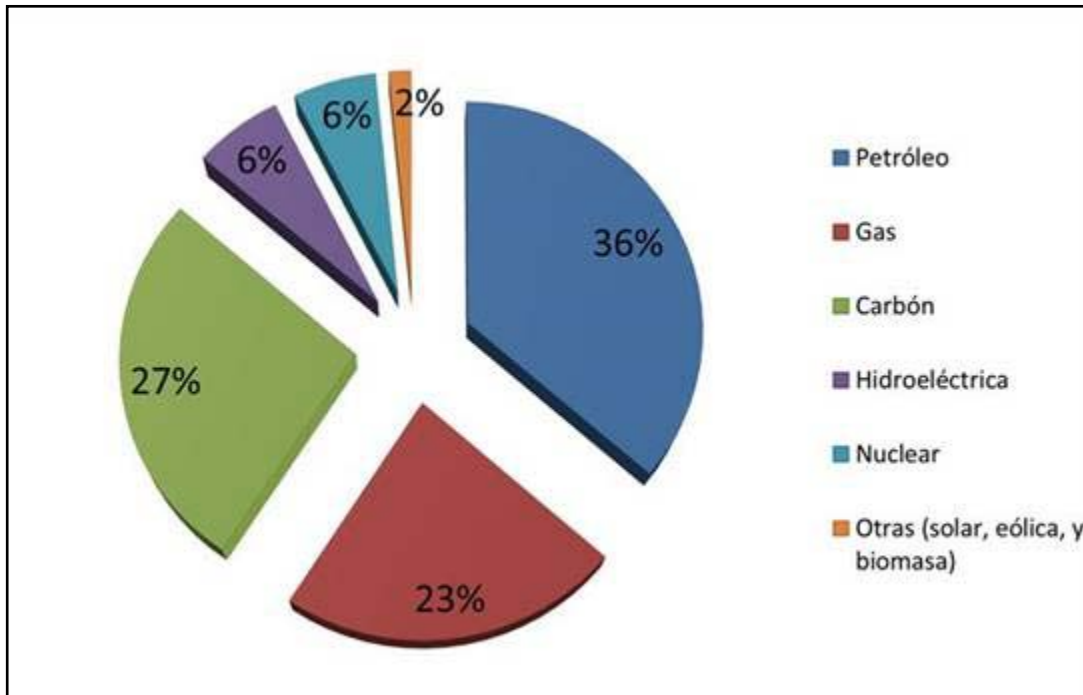


Figura 7.1: Consumo mundial de energía primaria por tipo de energía para el año 2006 en cuadrillón (10^{15}) BTU. Fuente US Energy Information Administration (2008)

Anexo 7.1: ¿Hasta cuándo habrá petróleo?

David Pimentel *et al.*, (1998) señalan, a partir de la información recabada en numerosas fuentes bibliográficas, que el abastecimiento mundial de petróleo se acabará, a las tasas actuales de producción, en aproximadamente 34 años desde ahora. Señalan, sin embargo, que si la población continúa creciendo y la gente pretende tener un estándar de vida y una tasa de consumo de energía similar al estadounidense promedio, las reservas mundiales de petróleo se agotarán en apenas 15 años. **Los Estados Unidos, con el 4% de la población mundial, consumen casi el 25% de la energía disponible en el planeta.**

La energía y las leyes de la termodinámica

La energía se define como la capacidad de realizar trabajo. Por lo general, esta energía se clasifica en dos tipos básicos: *cinética* (energía en acción o movimiento) y *potencial* (energía almacenada) y puede ser medida en diferentes unidades (Tabla 7.1).

Unidades de medida de la Energía y sus equivalencias	
Joule (J)	0,239 Cal
Caloría (cal)	4,187 J
Mega Joule (MJ)	$1 * 10^6$ Joule = 238000cal=238 kcal
Kilocalorías (Kcal.)	1000cal = 4187J =0,004MJ

Tabla 7.1: Unidades de medida de la energía y sus equivalencias

A diferencia de los materiales, cuyos átomos puede ser utilizados una y otra vez circulando repetidamente entre los organismos vivientes y no vivientes (de hecho, todo nuestro cuerpo está formado por átomos de segunda mano), la energía no se cicla, es un flujo unidireccional.

En cada transferencia o transformación de energía, una parte de la misma se convierte en calor, forma bajo la cual la energía no puede impulsar procesos vitales en el ecosistema.

A diferencia de la materia, que se recicla, la energía es un flujo unidireccional.

Este flujo unidireccional es gobernado por la primera y segunda ley de la termodinámica. La *primera ley*, también llamada ley de la conservación de la energía, establece que la energía no se crea ni se destruye, sino que sólo se transforma. También se enuncia comúnmente como “no se puede obtener algo de la nada”.

La *segunda ley*, o principio de la entropía, establece que cuando la energía es transferida o transformada, parte de ella es convertida en calor, una forma no disponible para realizar un trabajo. Es decir que, cómo se dice comúnmente, en ningún proceso de intercambio de energía se puede “salir a mano”. De acuerdo a esta ley, los sistemas se dirigen espontáneamente hacia un mayor desorden o entropía y, por lo tanto, para crear orden en un sistema es necesario gastar energía. La consecuencia de esta ley es que muchos procesos no son reversibles, sino unidireccionales.

El flujo de la energía en los ecosistemas

La fuente principal de energía en los ecosistemas, el punto de partida, es el sol. Sólo una pequeña parte de la energía solar que efectivamente llega a la tierra es transformada en biomasa por las plantas verdes (productores primarios) a través del proceso de la fotosíntesis. Mediante este proceso, una gran cantidad de energía de alta calidad es almacenada en los enlaces químicos que unen los compuestos orgánicos que conforman la biomasa.

Energía y productividad

Parte de esta energía almacenada es utilizada por los productores del sistema para su respiración (R), con la consiguiente pérdida de calor. Por lo tanto, la cantidad de energía efectivamente almacenada depende del equilibrio entre la intensidad con que la biomasa es producida (Productividad Primaria Bruta, PPB) y la intensidad de uso de la misma por parte de los propios productores (R) (ver Capítulos 4 y 6). La energía efectivamente almacenada en los tejidos vegetales por unidad de área en un tiempo dado, constituye la Productividad Primaria Neta (PPN). Parte de esta productividad neta puede ser almacenada o exportada (por ejemplo, en la cosecha de granos, tubérculos,

forraje, etc.) y parte puede llegar a ser una fuente de energía para el segundo nivel trófico (consumidores primarios o herbívoros).

Una parte del alimento ingerido por los consumidores primarios no es digerible o asimilable, de modo que cierta porción de la energía es expulsada sin utilizarse. Otra parte es utilizada en la respiración, proceso que asegura el mantenimiento de la estructura y función de los individuos. La energía asimilada que no se utiliza en la respiración está disponible para la producción de nuevos tejidos, la reproducción y el crecimiento. Es decir, sólo una pequeña parte de la energía disponible para los consumidores primarios podrá ser destinada a solventar las necesidades de energía del nivel trófico siguiente (consumidores secundarios).

Por los mismos mecanismos, en cada nivel trófico ocurre una pérdida adicional de energía. Esta reducción de la energía disponible en cada nivel trófico sucesivo de una cadena o red alimentaria, es el resultado del principio explicado por la segunda ley de la termodinámica (Figura 7.2).

El porcentaje de energía de alta calidad disponible, transferido de un nivel trófico a otro, varía entre sólo el 5 y el 20%, dependiendo de los tipos de especies involucrados y del ecosistema en que tiene lugar la transferencia.

Por lo tanto, cuanto más grande es el número de niveles tróficos o pasos en una cadena o red alimentaria, tanto mayor es la pérdida acumulativa de energía de alta calidad (Figura 7.2).

De acuerdo a esto, si la producción neta vegetal es de 15 Kcal. por m² por día, es posible esperar que sólo 1,5 Kcal. puedan ser almacenadas en los consumidores primarios (herbívoros) y sólo 0,15 a 0,3 Kcal. en los consumidores secundarios (carnívoros). Dado que se pierde tanta energía en cada transferencia, la cantidad de alimento que perdura después de dos o tres transferencias sucesivas es tan pequeña que muy pocos organismos podrían subsistir si los mismos tuvieran que depender estrictamente del alimento disponible al final de una larga cadena alimenticia (esto explica por qué son escasas las fieras, zorros, pumas, etc.). Por consiguiente, para propósitos prácticos, la cadena alimenticia está limitada a tres o cuatro eslabones.

Mientras más corta es la cadena, mayor será la disponibilidad de energía alimenticia. Este conocimiento resulta esencial a la hora de discutir la posibilidad de alimentar a esta y a las futuras generaciones (Anexo 7.2).

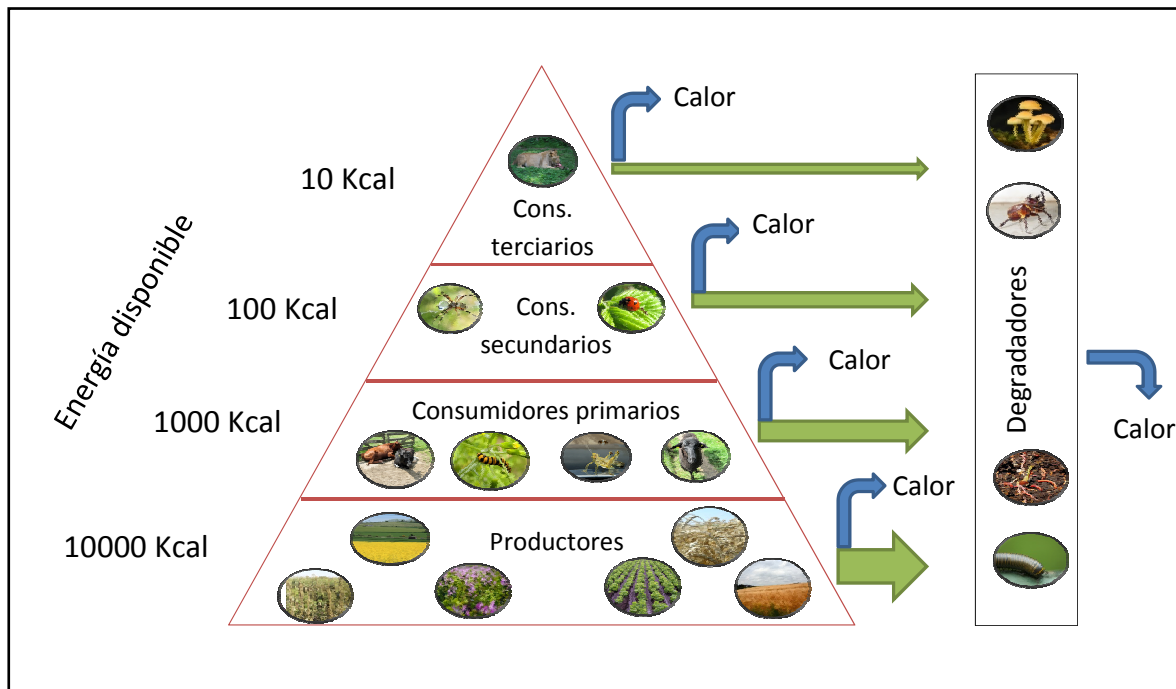


Figura 7.2: Pirámide del flujo de energía. Se supone una pérdida del 10% de la energía utilizable en la transferencia de un nivel trófico al otro

Anexo 7.2: El hambre del mundo: un problema de hábito alimentario

Teniendo en cuenta la pérdida de energía que se produce al atravesar los sucesivos niveles tróficos, si el hombre se comportara como consumidor primario en lugar de como consumidor secundario, se podrían alimentar a 10 veces más personas con una superficie determinada de, por ejemplo, maíz.

Es decir, si la gente comiera maíz directamente en lugar de alimentar con él a los animales y después comer la carne, ampliaríamos notablemente la capacidad de alimentar a un mayor número de personas. Por lo tanto, parte del problema alimentario es un problema de la dieta que se elija.

La energía en los ecosistemas naturales y en los agroecosistemas

La energía es la función impulsora de cualquier sistema, ya sea de aquellos diseñados por la naturaleza o de aquellos diseñados por el hombre.

Estos ecosistemas dependen de dos tipos principales de energía: la energía solar y la energía cultural.

Los ecosistemas naturales dependen únicamente, a excepción de aquellos en los que las mareas hacen un aporte de energía importante (estuarios, sistemas costeros), de la energía proveniente del sol (forma directa o como subsidios indirectos de energía solar tales como el viento y la lluvia).

En los ecosistemas naturales, la energía deja el sistema principalmente en forma de calor, generado por la respiración de los organismos constituyentes de los distintos niveles tróficos. Esta pérdida de energía es usualmente equilibrada por la entrada generada por la captación de energía por parte de los productores. Dado que en los ecosistemas naturales no hay prácticamente salida de biomasa, toda la energía almacenada es utilizada para contrarrestar la tendencia espontánea al aumento de entropía o, dicho de otra manera, se “gasta” en aumentar el orden del sistema (Figura 7.3).

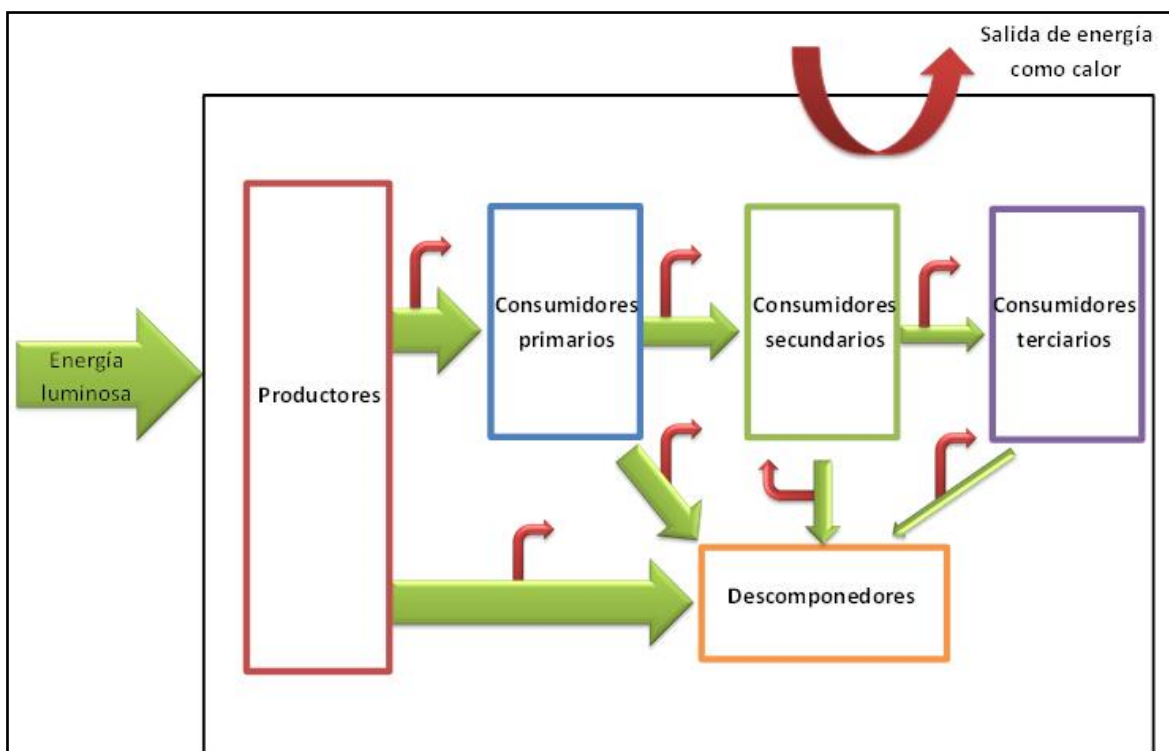


Figura 7.3: Flujo de energía en un ecosistema natural

En los Agroecosistemas, el flujo de energía sufre importantes modificaciones. La agricultura implica, por definición, una simplificación del ecosistema y, por lo tanto, un esfuerzo para desviarlo de los procesos naturales. Busca en síntesis, desviar la energía para ser consumida (respirada) por los seres humanos (que viven en ciudades) en lugar de los integrantes del sistema. El objetivo de la agricultura es manipular los flujos de energía con el propósito de obtener una cierta productividad neta (PNC) que pueda ser extraída como producto. Esto determina dos características distintivas de los agroecosistemas, con relación a los ecosistemas naturales:

a) La necesidad de contrarrestar la tendencia natural del sistema a dirigirse hacia un estado de equilibrio (clímax) en donde la Productividad Neta de la Comunidad (PNC), es decir, la cantidad de energía fijada por fotosíntesis menos la respiración de la comunidad (autótrofos y heterótrofos) tiende a cero. Para esto es necesario realizar un gasto de energía (ver Capítulos 4 y 6).

b) La salida de energía del sistema en forma de biomasa (granos, tubérculos, forraje, carne, leche, huevos, etc.).

Cuanto mayor es la productividad obtenida y el grado de simplificación del sistema, mayor es el esfuerzo sobre el ambiente para modificar los procesos naturales y, por lo tanto, mayor es el aporte de energía exigida.

Las técnicas agrícolas intensivas de la Revolución Verde han conducido a una simplificación extrema de los sistemas agrícolas. Bajo la idea de “poner el ambiente al servicio de los cultivos” los aumentos de rendimiento de los cultivos, han sido logrados a expensas de otorgarles una mayor capacidad de respuesta a los subsidios externos de energía, en lugar de aumentar la habilidad de utilizar la energía solar (ver Capítulo 1). Ya lo ha señalado claramente Vandana Shiva (1991) cuando advertía que las variedades modernas de la Revolución Verde no eran en realidad variedades de alto rendimiento (HYV: High Yielding Varieties), sino variedades de alta respuesta (HRV: High Responsive Varieties). El hombre debe, por lo tanto, realizar un aporte adicional de energía para efectuar tareas de protección y mantenimiento

(control de plagas, enfermedades, suministro de nutrientes, agua, etc.) tareas que, en el caso de los vegetales silvestres, se llevarían a cabo mediante el gasto de su propia energía. Esto ha conducido a un altísimo consumo energético por parte de la agricultura, (Figura 7.4) especialmente en los sistemas más intensificados.

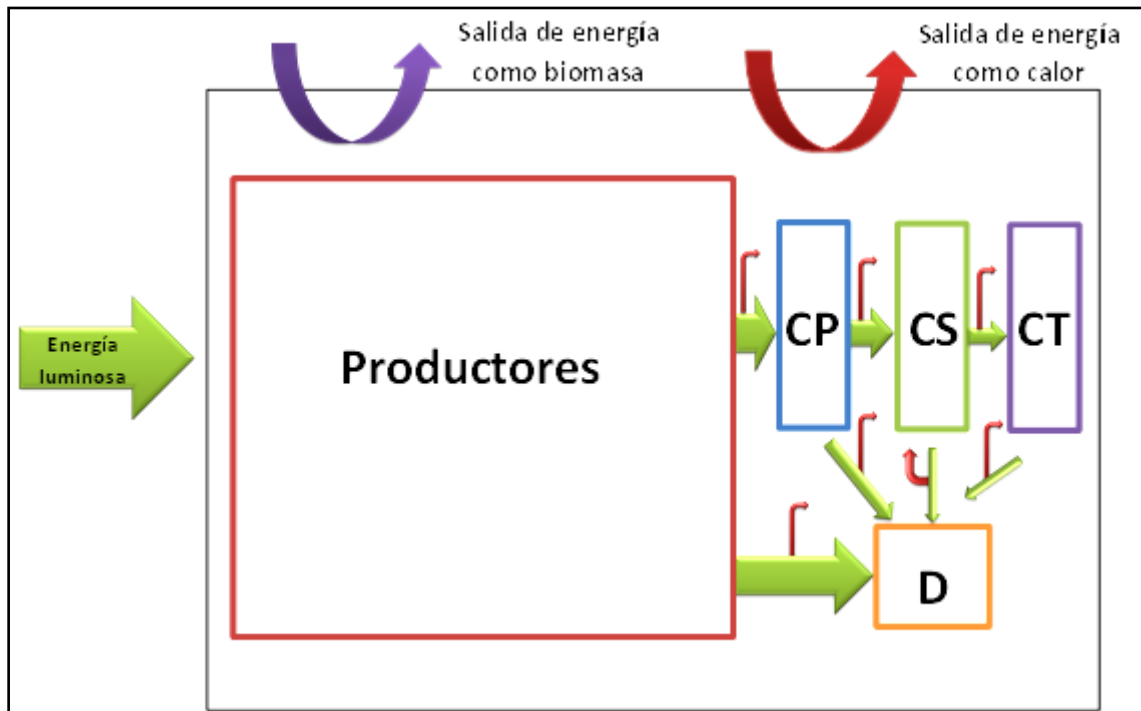


Figura 7.4: Flujo de energía en un agroecosistema, CP: consumidores primarios, CS: consumidores secundarios, CT: Consumidores terciarios, D: descomponedores

Según Gliessman (2001) los aportes de energía en la agricultura pueden ser clasificados en dos tipos principales:

Aportes ecológicos de energía: o aportes de energía solar.

Aportes culturales de energía: que pueden ser divididos a su vez en aportes biológicos e industriales.

Los aportes biológicos provienen directamente de fuentes biológicas que estén bajo el control humano. Incluye el trabajo humano, el trabajo animal y cualquier actividad o subproducto biológico controlado por los seres humanos (estiércoles, "compost", semilla producida localmente, etc.). Esta energía

cultural biológica es energía renovable derivada de la energía contenida en los alimentos, cuya fuente primaria es la energía solar.

Los aportes industriales de energía son aquellos principalmente derivados de los combustibles fósiles. Estos aportes han adquirido importancia notable a partir de la mecanización de la agricultura.

Eficiencia energética de los sistemas agrícolas

La energía industrial en la agricultura: aportes directos e indirectos. Energía asociada.

Los sistemas convencionales actuales son altamente dependientes de los aportes de energía cultural industrial. Este tipo de energía ha contribuido al aumento de la productividad de los sistemas agrícolas ya que es energía de mayor calidad (o más concentrada) y, por lo tanto, tiene mayor capacidad de realizar trabajo (una Kcal. de energía en forma de combustible fósil tiene capacidad de realizar cerca de 2000 veces más trabajo que una Kcal. de radiación solar).

Si bien esta energía proviene también de la energía solar que, por el proceso de fotosíntesis, fue concentrada y convertida a carbono hace millones de años, no pertenece al flujo actual de energía solar y es, a diferencia de ésta, un recurso no renovable que, por lo tanto, se agotará en un futuro más o menos cercano. Esto pone en evidencia la imposibilidad de sustentar los sistemas actuales de producción de alimentos.

La agricultura moderna requiere un importante aporte de energía (en forma de combustible o electricidad) en todas las etapas de la producción (i.e. uso de maquinarias, manejo del agua, riego, labores culturales y cosecha). Este aporte de energía que es realizado dentro del propio establecimiento agropecuario se denomina **aporte directo de energía industrial**.

En contraposición, los **aportes indirectos de energía industrial**, se refieren a la utilización de esta energía fuera del establecimiento agrícola para

producir maquinarias agrícolas, insumos químicos (fertilizantes minerales, insecticidas, herbicidas), semillas mejoradas y otros bienes y servicios utilizados en la producción agrícola. Según Biondi *et al.*, (1989) en la agricultura de Italia, esta energía representa entre un 60 y 70% del total de energía consumida.

Las maquinarias, fertilizantes y otros insumos químicos utilizados en la agricultura han tenido un rol decisivo en el incremento de la productividad de los sistemas agrícolas. Sin embargo, este incremento de productividad fue a expensas de un alto consumo indirecto de energía utilizado para la producción, distribución y transporte de los citados insumos. En los EEUU, aproximadamente 2/3 de la energía usada en la producción de cultivos deriva de los fertilizantes y la mecanización (Pimentel *et al.*, 2002).

La **energía asociada** a la producción de los diferentes insumos agrícolas puede ser calculada a partir de los valores de energía requeridos para la manufactura de los distintos productos. Se denomina asociada porque no está contenida en el producto sino asociada a éste. El costo energético total de un insumo (es decir el consumo de energía desde la extracción de la materia prima hasta la entrega del producto manufacturado en el campo) dependerá de numerosos factores altamente variables. Entre estos, de la distancia que existe entre las fuentes de materia prima y las fábricas de insumos, de la facilidad de extracción, del proceso químico de manufactura, y de las distancias involucradas en el transporte de la materia prima, los productos semiacabados y de los productos terminados.

El cálculo de la energía utilizada en cada uno de los eslabones del proceso de producción posibilita calcular los costos energéticos asociados a numerosos insumos agrícolas (Tabla 7.2). Esto permite comparar distintos sistemas de producción con relación a la cantidad total de energía utilizada para la obtención de una determinada cantidad de energía cosechada. Dicho de otra manera, permite comparar sistemas en función de su **eficiencia energética**. Así, un arado de rejas tiene una alta Energía Asociada, equivalente a $67,7 \text{ MJ.ha}^{-1}$ que es la cantidad de energía que se gastó en su fabricación, dividida por su vida útil y referida a las has que puede trabajar en

este período Tabla 7.2). De esta manera, se calcula cuánta de esta energía se gasta en una hectárea de su uso.

Eficiencia Energética y Sustentabilidad

Desde el punto de vista de la sustentabilidad, es importante analizar la eficiencia con que se utiliza la energía industrial para la conversión de energía solar en biomasa (Gliessman, 2001). Este análisis de los flujos y la eficiencia energética de los agroecosistemas fue promovido y desarrollado, entre otros, por David Pimentel, investigador de la Universidad de Cornell, EE.UU. En sus estudios, claramente queda expuesta la baja eficiencia en el uso de la energía de los sistemas altamente industrializados, enmascarada, a veces, por el bajo costo de los combustibles fósiles y por su alta productividad.

Para medir esta forma de uso de la energía pueden relacionarse los flujos de entrada y salida de energía del agroecosistema calculando, de esta manera, la **eficiencia energética** de una producción determinada.

Para ello, es necesario cuantificar, como Energía Ingresada (EI), los aportes directos e indirectos de energía cultural (a través de los valores de energía asociada). La salida de energía (ES) del sistema se calcula, en función del contenido energético del producto cosechado (Ej. grano de maíz). Este depende de su composición química: fundamentalmente proporción de grasas, proteínas e hidratos de carbono, multiplicando dicho contenido energético por la cantidad de producto cosechado. Por ejemplo, los cultivos oleaginosos como el girasol que pueden tener un 50% de aceite, tienen mayor energía por kilo que los cereales, como el trigo.

La relación entre la energía salida (ES) y la energía ingresada (EI) de un sistema es la eficiencia energética ($E E$) de ese sistema ($E E = ES/EI$).

Es decir, las unidades de energía que se obtienen por cada unidad de energía que se agrega al sistema. A mayor valor, mayor eficiencia.

Como la energía no conserva sus características luego de atravesar los AES, (ingresa como energía de un tipo y se transforma en otro), este análisis

requiere convertir todas las entradas y salidas a unidades equivalentes, en MJoules o Kcalorías.

En general, cuanto mayor es el aporte de energía externa, mayor es la productividad de los sistemas agrícolas. Sin embargo, cuando el aporte de energía cultural es muy alto, la eficiencia energética de los sistemas disminuye. Los sistemas pueden ser altamente productivos y muy poco eficientes energéticamente. Un ejemplo de esto son los valores encontrados por Pimentel *et al.* 1990a, al analizar el gasto y la eficiencia energética de la producción de maíz orgánico y convencional en Iowa, Estados Unidos. Aunque los valores de rendimiento fueron similares, unos 8000 kg*Ha⁻¹, la eficiencia energética fue muy superior (casi el doble) en el maíz orgánico, fundamentalmente por el no uso de herbicidas y el agregado de N en forma orgánica en lugar de hacerlo como fertilizante sintético, de alto costo energético (ver tabla 7.2).

Los agroecosistemas no mecanizados, basados en el aporte de energía a través del trabajo humano o animal, tienen altas eficiencias energéticas: entre 5 y 40 calorías de energía producidas por cada caloría de energía cultural invertida (Gliessman, 2001). En los Estados Unidos, desde el año 1700 hasta 1900 el incremento en el uso de la energía (principalmente fósil) aumentó 17 veces, mientras que, en el mismo período, los rendimientos del maíz aumentaron sólo 3 veces (Pimentel *et al.*, 1990b). La eficiencia en el uso de la energía está estrechamente relacionada con el tipo de agricultura que se practique: por ejemplo Pimentel *et al.* (1990a) señalan que la producción orgánica de maíz y trigo, sin uso de fertilizantes sintéticos, fue un 26 a 70% más eficiente que la convencional.

Por otra parte, Bayliss-Smith (1982), analizando diferentes sistemas agrícolas encontró que esta eficiencia puede ir desde 40 unidades de energía obtenidas por unidad suministrada en sistemas primitivos de cultivos, hasta sólo 1 o 2 en sistemas de agricultura industrializada. Justamente, los sistemas altamente mecanizados, en cambio, alcanzan mayores niveles de rendimiento a costa de una notable disminución de la eficiencia energética, alcanzando incluso el extremo en dónde el retorno de energía en el alimento es menor a la inversión de energía cultural (EE < 1). Según Grönross (2006) en algunos de

estos sistemas, la proporción de energía renovable representa solo un 7 a 16% de la energía primaria total utilizada, mostrando la alta dependencia de energía no renovable de los modelos intensivos de agricultura. Tal es el caso, por ejemplo, de las producciones intensivas de hortalizas o de la producción intensiva de carne bovina en EEUU (Tabla 7.3). Esto pone de manifiesto la insustentabilidad de los sistemas agrícolas modernos desde el punto de vista del uso de la energía.

Energía asociada a algunos insumos de uso común en agricultura		
INSUMOS	ENERGIA ASOCIADA	UNIDADES
MAQUINARIA		
Arado de reja ¹	67,7	MJ ha ⁻¹
Cinzel ¹	28,7	
Arado de disco ¹	44,8	
Rastra de discos doble acción ²	54,7	
Rastra de dientes ²	13,0	
Cultivador ²	17,3	
Vibrocultivador ¹	15,5	
Sembradora ¹	28,4	
Sembradora S. Directa ¹	54,5	
Fertilizadora ²	3,7	
Pulverizadora ²	15,1	
Cosechadora ¹	83,9	
Rastrillo ¹	8,4	
Enfardadora ¹	37,6	
COMBUSTIBLE (Gas Oil)	47,8	MJl ⁻¹
FERTILIZANTES		
N ¹	80	MJkg ⁻¹
P ¹	14	
K ¹	7	MJTon ⁻¹
ESTIÉRCOL ¹	62,7	
SEMILLAS		
Trigo ¹	13	MJkg ⁻¹
Cebada de invierno ¹	13	
Cebada de primavera ¹	13	
Vicia ¹	10	
INSECTICIDAS ³	355	MJ l ⁻¹
HERBICIDAS		
Glifosato ¹	450	MJ l ⁻¹
Paraquat ¹	450	
Otros ¹	185	

¹ Según Hernánz *et al.*, 1995² Según Zentner *et al.*, 2004³ Según Pimentel *et al.*, 1990a**Tabla 7.2:** Energía asociada a algunos insumos de uso común en agricultura

La energía consumida depende tanto del cultivo elegido, como de la tecnología que se utiliza. En nuestro país, Iermanó & Sarandón (2009 b) analizando la energía gastada en diferentes procesos ecológicos en los cultivos de soja, girasol, colza y algodón, encontraron que, el ciclado de nutrientes (reposición de los principales nutrientes) significó el 66% y el 71 % de la energía total consumida en el cultivo de soja y colza respectivamente. Por otra parte, la regulación biótica (control de plagas) significó entre el 4 y 39 % del gasto total de energía. Ambos procesos pueden ser parcialmente reemplazados por procesos ecológicos: fijación simbiótica de nitrógeno y mecanismos de control biológico por conservación (ver Capítulo 10), que podrían fortalecerse o potenciarse manipulando correctamente la biodiversidad en los agroecosistemas.

Tipo de Producción	Eficiencia energética
Producción de Carne Bovina (EEUU) ¹	0,2
Producción de berenjena bajo cubierta (Turquía) ²	0,61
Producción de pepino bajo cubierta (Turquía) ²	0,76
Producción de tomate bajo cubierta (Turquía) ²	1,26
Producción intensiva de maíz (EEUU) ³	2,8
Producción de Soja intensiva en Argentina ⁵	2,8
Maíz en sistemas de roza y quema (EEUU) ³	8,4
Cría Bovina en base a pastos (Argentina) ⁴	13
Arroz irrigado no mecanizado (Tailandia) ¹	38

¹ Según Gliessman (2001)

² Según Ozkan *et al.* (2004)

³ Según Pimentel & Pimentel (2005)

⁴ Según Cieza & Flores (2007)

⁵ Según Iermanó y Sarandón (2009a)

Tabla 7.3: Eficiencia energética de distintos tipos de producciones agropecuarias. Mientras mayor el número, mejor la eficiencia energética

La agricultura convencional está usando más energía para producir alimentos que la energía que los mismos contienen, con el agravante de que la energía utilizada proviene de un recurso no renovable y, por lo tanto, finito.

Pimentel *et al.* (2004) señalan que, en los EE.UU., por cada Kcal. de alimento se necesita gastar 13 Kcal. de energía fósil.

Además de esto, la alta dependencia de combustibles fósiles se relaciona, sin dudas, con todos los problemas ecológicos y sociales (abordados en el Capítulo 1) que son fuente de insustentabilidad de los sistemas agrícolas.

La producción de energía a partir de biomasa ¿una alternativa sustentable para el reemplazo de combustibles fósiles?

El anunciado agotamiento del petróleo junto a la creciente demanda de energía a nivel mundial ha llevado a la búsqueda permanente de energías alternativas que puedan sustituirlo. Los agrocombustibles (etanol, biogás, biodiesel) empiezan a demandar una atención especial dado que se consideran potenciales reemplazantes de petróleo y/o una fuente importante de agronegocios (Iermanó & Sarandón, 2009a).

Ante tamaña promesa cabe preguntarse ¿Podrá la agricultura suministrar la energía que se requiere, o podrá esta energía reemplazar a los combustibles fósiles? En síntesis, ¿Podemos cosechar o “producir” energía con la agricultura? Para dar respuesta a estas preguntas es necesario analizar varios aspectos.

El primero, es la eficiencia energética de la producción de agrocombustibles: para lograr sustituir el petróleo por agrocombustibles se necesita que estos últimos produzcan más energía que la que requiere su elaboración. Hoy se produce agrocombustibles con petróleo, pero, en el futuro, si se pretenden como sustitutos de los combustibles fósiles, se deberán sostener estos sistemas productivos con el propio (una parte) del agrocombustible producido. Sin embargo, y como ya se ha analizado en apartados anteriores, la agricultura moderna se ha caracterizado por requerir elevados insumos energéticos (Dazhon & Pimentel, 1990) por lo que la eficiencia energética de muchos sistemas productivos ha demostrado tener valores bastante bajos, cercanos a la unidad o aun menores, dependiendo de la tecnología utilizada (Ozkan *et al.*, 2004; Flores *et al.*, 2007).

En este sentido, Iermanó & Sarandón (2009a), analizando diferentes modelos productivos para la Región Pampeana Argentina, observaron que la energía “cosechada” en el biodiesel fue menor a la invertida para su obtención cuando se producía a través de soja (0,31) y algodón (0,18), casi igual (colza: 1,09) o, apenas superior (girasol: 2,92), lo cual señala la inviabilidad energética de los modelos intensivos de producción para la producción de este agrocombustible.

Esto se agrava cuando se considera que los valores de eficiencia energética fueron calculados sin incluir los gastos de energía directa y asociada utilizada en los procesos industriales de obtención del biodiesel, ni los gastos de energía durante el transporte a lo largo de la cadena productiva y su distribución, que ha sido señalado como un aspecto fundamental a tener en cuenta en la posibilidad del uso masivo de bioenergía (Hamelink *et al.*, 2005). Los resultados obtenidos en el citado trabajo señalan claramente la inviabilidad de sustituir petróleo por biodiesel desde el punto de vista energético con este modelo de agricultura.

Un segundo aspecto a considerar es la competencia que se produce entre el destino de la tierra para agrocombustibles y el destino para la producción de alimentos. La producción masiva de agrocombustibles requerirá aumentar la superficie agrícola actual o reconvertir el destino de la superficie destinada a producir alimentos hacia la producción de cultivos energéticos para su elaboración. Las magnitudes de estos requerimientos son sorprendentes. Por ejemplo, para producir el biodiesel necesario para reemplazar el gasoil que utiliza el agro argentino, habría que duplicar la superficie sembrada con soja en la Argentina, unas 20 millones mas de has (Iermanó & Sarandón, 2009a) Ambas opciones son incompatibles con la sustentabilidad de la producción agropecuaria.

En primer lugar, el avance de la frontera agrícola implica la intervención sobre ecosistemas más frágiles con la consecuente pérdida de biodiversidad, degradación de los suelos y contaminación por el mayor uso de insumos. A su vez, la pérdida de biodiversidad implica la pérdida de los servicios ecológicos que la misma brinda, los cuales deben ser reemplazados por insumos, los que

provoca elevados perjuicios ambientales (ver Capítulo 1) y, además, reduce aún más la eficiencia energética de los sistemas productivos. Como señalan Iermanó & Sarandón (2009a) “de esta manera, la producción de biodiesel sería responsable de la destrucción de la biodiversidad para hacer “monocultivos energéticos” que, paradójicamente, requieren la incorporación de elevadas cantidades de energía”.

En segundo lugar, la reconversión de las superficies productivas destinadas a la alimentación hacia sistemas productivos para la producción de agrocombustibles provocará el desplazamiento de otras actividades ganaderas o agrícolas destinadas a la alimentación con el consecuente aumento de los precios y del costo de vida para las familias, incrementando la brecha entre pobres y ricos y poniendo en riesgo la seguridad y soberanía alimentaria. Asimismo, esta sustitución favorecerá la concentración de la tierra en manos de grandes empresas incrementando el éxodo rural.

En tercer lugar, cabe analizar que la producción de agrocombustibles sólo agravará la brecha entre los países centrales y los países latinoamericanos dado que la exportación de los agrocombustibles constituye un agronegocio promisorio para un mercado altamente demandante de energía (Altieri & Bravo, 2008) a los países periféricos (CPT & RSJDH, 2010) a costa de sacrificar su sustentabilidad ecológica y social.

Conclusiones

La agricultura sustentable requiere una clara comprensión de los procesos que gobiernan los agroecosistemas. Entre ellos el flujo de energía resulta esencial por su relación con la productividad y el agotamiento de los recursos.

Teniendo en cuenta que la energía no puede reciclarse, el aprovechamiento más eficiente de la energía solar y la disminución de la dependencia de energía externa al sistema son conceptos esenciales que deben tenerse en cuenta para el manejo sustentable de los agroecosistemas a

fin de optimizar los flujos positivos y minimizar las consecuencias negativas para las futuras generaciones.

Preguntas para el repaso y la reflexión

1. *¿Por qué, a diferencia de la materia, la energía no puede reciclarse? ¿Qué implicancias tiene este hecho para el manejo de los agroecosistemas?*
2. *¿Qué importancia tiene para el manejo de los agroecosistemas la segunda ley de la termodinámica?*
3. *¿Es posible que una cadena trófica sea muy larga? ¿Por qué?*
4. *¿Por qué se afirma que, desde el punto de vista energético, la sustentabilidad es un problema de dieta o tipo de alimentación? ¿Cuál es su opinión al respecto?*
5. *¿Cuáles son las diferencias entre los ecosistemas naturales y los agroecosistemas desde el punto de vista del flujo de energía?*
6. *¿Qué es la eficiencia energética y cómo se puede medir? ¿Cómo se relaciona con la sustentabilidad de los agroecosistemas?*
7. *¿Cuáles son las consecuencias de la intensificación de las prácticas agropecuarias sobre el uso de los recursos no renovables?*
8. *Una de las principales características que han servido para promocionar la “mayor sustentabilidad” de la siembra directa ha sido el de “hacer un uso más eficiente de la energía fósil”. Sobre la base de los planteos productivos de trigo en siembra directa y convencional adjuntos:*
 - a- *Calcule la eficiencia energética para cada uno de los sistemas utilizando los datos (ver tabla 7.2) de energía asociada a los diferentes insumos de uso común en la agricultura*
 - b- *Realice un análisis comparativo entre los planteos productivos de trigo en siembra directa y convencional teniendo en cuenta:*
 1. *Inversión energética en labores de preparación del suelo, siembra, mantenimiento del cultivo y cosecha*
 2. *Inversión energética en la manipulación del ciclo de los nutrientes.*
 3. *Inversión energética en la regulación biótica del sistema.*

En función de esta comparación analice cuál o cuáles insumos son los principales responsables de los valores obtenidos en ambos sistemas. Discuta si es verdad la afirmación de la siembra directa y qué posibilidades habría de mejorar la eficiencia energética en cada uno de ellos.

SISTEMA TRIGO CONVENCIONAL

Previo a la siembra se realizaron las siguientes labores: una pasada de rastra de discos para picar el rastrojo y borrar los surcos del cultivo anterior (maíz), dos pasadas de arado de reja, una pasada de rastra de discos y una pasada de rastra de dientes.

Se sembró con una densidad de 110 kg /ha. Junto a la siembra se aplicaron 100 kg/ha de fosfato diamónico (18:20:0). En estado de macollaje se realizó una aplicación de 50 kg de urea y 400 cm³/ha de 2,4 D y 100 cm³ de Piclorán (herbicidas).

Se cosechó con un rendimiento de 3000 kg/ha.

Se efectuó un gasto de 60 litros de combustible/ha

SISTEMA EN SIEMBRA DIRECTA

Previo a la siembra se realizó una aplicación de Round-up (glifosato) con una dosis de 3,5 l/ha. Se realizó siembra directa con una densidad de 120 kg/ha y se aplicaron 150 kg/ha de fosfato diamónico (18:20:0).

En macollaje se realizó una aplicación de 100 kg de urea y 400 cm³ de 2,4 D + 100 cm³ de Piclorán. El gasto total de combustible fue de 18 litros/ha. Se cosechó con un rendimiento de 3000 kg/ha.

9. *¿Qué eficiencia energética estima usted que podría tener un "feed lot"? Justifique su respuesta.*
10. *Habitualmente se considera que, por su posición trófica, los sistemas ganaderos tienen bajas eficiencias energéticas. Sin embargo, Cieza & Flores (2007) calcularon que la eficiencia energética de los sistemas de cría en la Cuenca del Salado es de 13. Analice por qué estos sistemas pueden ser tan eficientes energéticamente.*

Bibliografía citada

- Altieri M & E Bravo (2008) La tragedia social y ecológica de la producción de agrocombustibles en el continente Americano. Online. Disponible en: <http://social.org.br>. Último acceso: septiembre 2013.
- Bayliss-Smith TP (1982) The ecology of agricultural Systems. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 112 pp.
- Biondi P, V Panaro & G Pellizzi (1989) Le richieste d'energia de1 sistema agricolo italiano. PFE, LB-20, CNR-ENEA, Rome, 387 pp.
- Cieza R & C Flores (2007) Sustentabilidad económica y eficiencia energética de las estrategias de diversificación de sistemas productivos de la Cuenca del Salado, Argentina. Revista Brasileira de Agroecología 2 (1): 264-267.
- CPT (Comisión Pastoral de la Tierra) & RSJDH (Red Social de Justicia y Derechos Humanos) (2010) Energía: mitos e impactos en América Latina. Disponible en: <http://social.org.br>. Último acceso: septiembre 2013.
- Dazhong W & D Pimentel (1990) Energy flow in Agroecosystems of Northeast China. In SR Gliessman (Ed.) Agroecology: Researching the ecological basis for sustainable agriculture. Springer-Verlag: 322-336.
- US Energy Information Administration (2008) International Energy Annual 2006. Disponible en: <http://www.eia.gov/>. Último acceso: enero de 2014.

- Flores C, SJ Sarandón & MJ Iermanó (2007) Eficiencia energética en sistemas familiares del Partido de La Plata, Buenos Aires, Argentina. *Revista Brasileira de Agroecologia* 2 (1): 1060-1063.
- Gliessman S (2001) A energética dos agroecosistemas. En: *Agroecología. Processos ecológicos em agricultura sustentável*. Segunda Edición. Editora da Universidade. Río Grande do Sul. Brasil. 18: 509-538.
- Grönross J (2006) Energy use in conventional and organic milk and rye bread production in Finland. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 117: 109-118, .
- Hamelinck C, R Suurs & A Faaij (2005) International bioenergy transport costs and energy balance. *Biomass and Bioenergy*, 29:114-134.
- Hernández JL, VS Girón & C Cerisola (1995) Long-term energy use and economic evaluation of three tillage systems for cereal and legume production in central Spain. *Soil & Tillage Research* 35 :183-198.
- Iermanó MJ & SJ Sarandón (2009a) ¿Es sustentable la producción de agrocombustibles a gran escala? El caso del biodiesel en Argentina. *Revista Brasileira de Agroecologia* 4(1):4-17.
- Iermanó MJ & SJ Sarandón (2009b) "Análisis de la demanda de energía en 3 cultivos oleaginosos de clima templado, según distintos procesos ecológicos." *Rev. Bras. de Agroecologia*, 4 (2): 1738-1741.
- Ozkan B, A Kurklu & H Akcaoz (2004) An input-output energy analysis in greenhouse vegetable production: a case study for Antalya region of Turkey. *Biomass & Bioenergy* 98: 89-95.
- Pimentel D & M Pimentel (2005). El uso de energía en agricultura. Una visión general. *LEISA* 21(1): 5-7.
- Pimentel D, G Berardi & S Fast (1990a) Energy efficiencies of farming wheat, corn, and potatoes organically. En: *Organic farming current technology and its role in a sustainable agriculture*. ASA special publication number 46. Segunda edición. American Society of Agronomy- Crop Science Society of America-Soil Science Society of America. Madison. EEUU. 12: 151-161.
- Pimentel D, W Dazhong & M Giampietro (1990b) Technological changes in energy use in US Agricultural Production. In: SR Gliessman (Ed.) *Agroecology: Researching the ecological basis for sustainable agriculture*. Springer Verlag: 305-322.
- Pimentel D, M Pimentel & M Karpenstein-Machan (1998) Energy use in Agriculture: an overview. Disponible en: [http:// www. baen.tamu.edu/cigr/submissions/CIGRE98-0001/energy.pdf](http://www.baen.tamu.edu/cigr/submissions/CIGRE98-0001/energy.pdf) . Último acceso: agosto de 2002.
- Pimentel D, R Doughty, C Carothers, S Lamberson, N Botra & K Lee (2002) Energy and economic inputs in crop production: Comparisons of developed and developing countries. In R. Lal (ed.), *World Natural Resources*. Boca Raton, FL, CRC Press.
- Pimentel D, A Pleasant, J Barron, J Gaudioso, N Pollock, E Chae, Y Kim, A Lassiter, C Schiavoni, A Jackson, M Lee & E Eaton (2004) US Energy conservation and efficiency: Benefits and costs. *Environment, Development and Sustainability*, 6: 279-305.
- Shiva V (1991) "Miracle seeds" and the destruction of genetic diversity. In: *The violence of the green revolution*. Third World Agriculture, Ecology and Politics. Third World Network, Penang, Malaysia: 61-102.
- Zentner RP, GP Lafond, DA Derksen, CN Nagy, DD Wall & WE May (2004) Effects of tillage method and crop rotation on non-renewable energy use efficiency for a thin Black Chernozem in the Canadian Prairies. *Soil & Tillage Research* 77: 125-136.

CAPÍTULO 8

MANEJO DE NUTRIENTES EN LOS AGROECOSISTEMAS

Esteban A. Abbona y Santiago J. Sarandón

Introducción

Los nutrientes, junto con el agua y la energía, constituyen elementos esenciales para la vida y el funcionamiento de los agroecosistemas. A pesar de que la agricultura se realiza desde hace 10.000 años, recién en los últimos 30, el manejo de los nutrientes en los agroecosistemas adquirió relevancia. Los países “desarrollados” han centrado su preocupación en la disminución de la contaminación generada por el exceso de nutrientes, mientras que, en los países “en vías de desarrollo” la preocupación se ha focalizado en el empobrecimiento y degradación de los suelos.

Abordar de manera adecuada el manejo de los nutrientes en los agroecosistemas requiere conocer el rol que tienen los mismos en los ecosistemas naturales y los cambios que genera la agricultura en el ciclo de los mismos, de manera de brindar herramientas que permitan desarrollar estrategias para un manejo sustentable de los nutrientes. Este Capítulo busca realizar un aporte en tal sentido.

Los nutrientes en los ecosistemas naturales

La vida en los ecosistemas es posible, entre otras cosas, por los nutrientes necesarios para los organismos, los que son tomados del ambiente utilizando la corriente de energía que fluye y atraviesa el agroecosistema. Aunque en la naturaleza se conocen 92 elementos, sólo 18 de ellos forman parte de todos los organismos vivos. Algunos como el C, N, P, K, Ca, S, Mg,

son requeridos en grandes cantidades (macronutrientes), mientras que otros, como el Fe, Mn, Zn, B, Na, se requieren en pequeñas cantidades (micronutrientes).

En los ecosistemas, los nutrientes no se encuentran fijos o estáticos sino que se mueven del ambiente a los organismos vivos, y de estos de nuevo al ambiente, formando ciclos, llamados también *ciclos biogeoquímicos*. Los productores del ecosistema (autótrofos: plantas verdes) toman los nutrientes del ambiente (el suelo y el aire) y lo transforman en elementos orgánicos, los cuales luego son utilizados por los organismos heterótrofos, es decir, los herbívoros, carnívoros y descomponedores. Así los nutrientes atraviesan y posibilitan las cadenas alimentarias. Con la muerte y posterior descomposición de los organismos vivos (también con las excreciones y orina) los nutrientes retornan al ambiente quedando disponibles para ser aprovechados nuevamente por las plantas (Figura 8.1). El aprovechamiento de los nutrientes en los ecosistemas naturales es muy eficiente (ver Capítulo 4), debido a la ocupación plena de los recursos, lo que significa que no hay recursos desaprovechados. El ciclado de nutrientes es, entonces, un proceso fundamental en los ecosistemas.

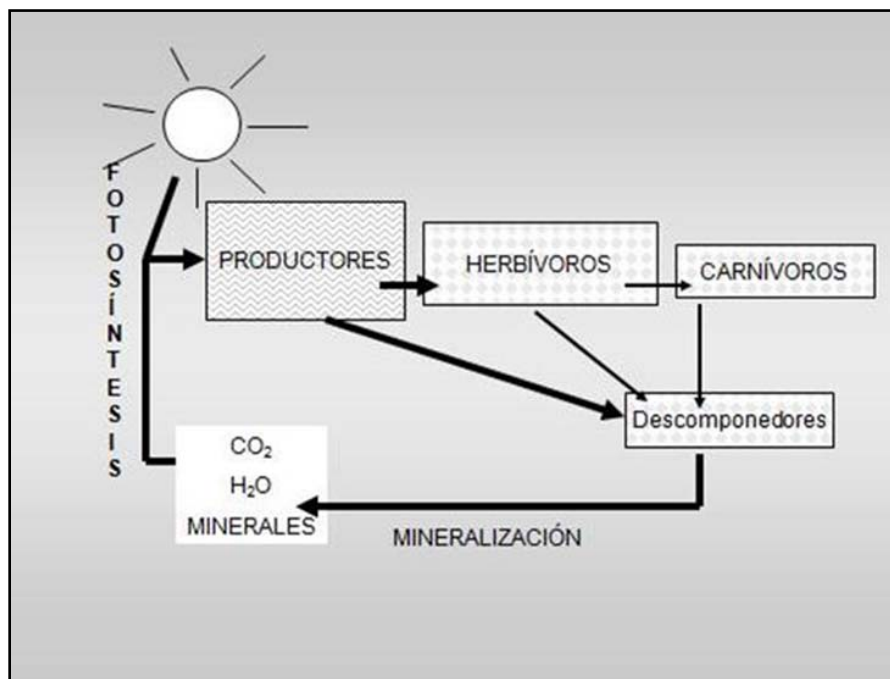


Figura 8.1: Esquema simplificado del ciclo de los nutrientes en un ecosistema natural

Los ciclos de los nutrientes pueden ser clasificados en dos grupos: **gaseosos y sedimentarios**. En el primero, los nutrientes circulan principalmente entre la atmósfera y los organismos vivos, y pueden ser reciclados *rápidamente*, como es el caso del nitrógeno. Los nutrientes de ciclo sedimentario circulan entre la corteza terrestre (suelo y rocas), la hidrósfera y los organismos vivos. Estos son reciclados *lentamente* y, en algunos casos, pueden estar retenidos por miles de años en las rocas antes de ser liberados. El fósforo es un nutriente de ciclo sedimentario.

Ciclo del nitrógeno (N)

En la Figura 8.2 se puede observar un esquema simplificado del ciclo del nitrógeno. La atmósfera es la principal reserva de este nutriente, con un 78% de su volumen ocupado por este gas (N_2). Sin embargo, a pesar de que las plantas están rodeadas de este elemento, no pueden aprovecharlo en su estado gaseoso, sino en su forma mineral como ión nitrato (NO_3^-) o amonio (NH_4^+). La transformación del gas a su forma disponible es entonces un paso imprescindible y se realiza naturalmente por vía biológica o por vía inorgánica. En el primer caso intervienen bacterias, las cuales pueden actuar libres o asociadas a plantas leguminosas (simbióticas), como las del género *Rizhobium*. Este es, sin dudas, el mecanismo más importante con que contamos para incorporar N al suelo. La fijación inorgánica se realiza a través de los rayos, pero esta forma puede representar sólo un 10% de lo que puede ser fijado en forma biológica.

Las plantas toman el nitrógeno del suelo y lo utilizan para formar sus proteínas. Los animales sólo pueden obtener nitrógeno orgánico, por lo cual, deben consumir plantas (herbívoros) u otros animales que consuman plantas (carnívoros). Cuando mueren, tanto los animales como los vegetales, son degradados por una serie de organismos descomponedores, liberando nitrógeno al suelo. Parte de este nitrógeno puede ser aprovechado por las plantas

nuevamente, pero otra parte puede ser lixiviada o transformada por bacterias a su forma gaseosa, retornando a la atmósfera (desnitrificación, volatilización).

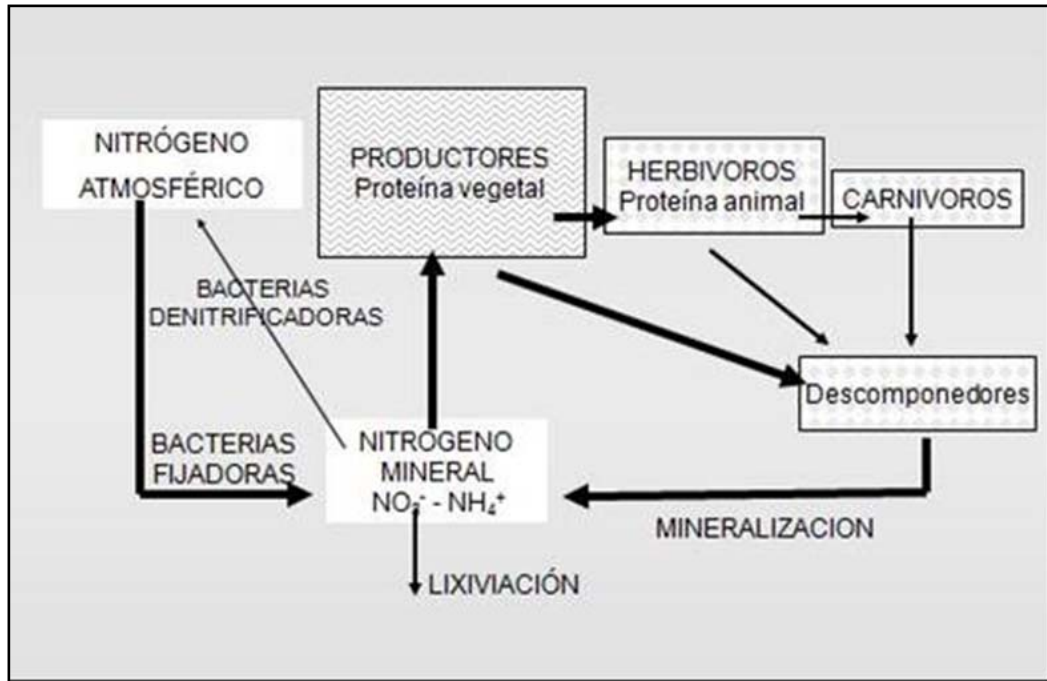


Figura 8.2: Esquema simplificado del ciclo del nitrógeno en un ecosistema

Ciclo del fósforo (P)

El fósforo es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas y, tal vez, uno de los más problemáticos, por su escasez relativa. Las reservas de este nutriente se encuentran en rocas y suelos, y también en sedimentos marinos. A medida que las rocas se degradan lentamente o meteorizan, liberan fosfato a la solución del suelo. Las plantas absorben el fósforo del suelo y lo transforman en compuestos orgánicos, pasando luego a los distintos componentes de la cadena alimentaria. Al morir los organismos y ser descompuestos, el fósforo retorna al suelo pudiendo ser absorbido por las plantas o inmovilizado, al complejarse con Fe, Al, (suelos ácidos) o Ca (suelos alcalinos). Como la solubilidad del fósforo es muy baja, su riesgo de lixiviación es leve. Sin embargo, puede ser arrastrado en las partículas superficiales del suelo durante el proceso de erosión. Argentina cuenta con 17 cuencas

sedimentarias con potencial fosfático. Sin embargo, casi la totalidad del fósforo aplicado en las actividades agropecuarias proviene del exterior, como fertilizante o roca fosfórica (Melgar & Castro, 2005).

Impacto de la agricultura en los ciclos de los nutrientes

La agricultura es una actividad que transforma los ecosistemas naturales con el fin de producir alimentos y fibras, gran parte de los cuales no son consumidos dentro de los propios agroecosistemas, sino que son destinados al mercado. Esto implica una apertura del ciclo de los nutrientes, a través de un flujo contenido en los productos de cosecha: leche, huevos, carne, granos, tubérculos, rollos de forraje, etc., Es decir que, por definición, los agroecosistemas modernos son sistemas abiertos a los nutrientes, al tener un producto de cosecha. Por esta razón, a diferencia de un ecosistema natural, un agroecosistema no puede autoabastecerse de nutrientes, sino que requiere la incorporación de nutrientes externos al mismo para compensar las salidas. Este impacto de la agricultura sobre el ciclo de los nutrientes puede analizarse a escala global, regional o a nivel de agroecosistema (finca).

Impacto de la agricultura sobre el ciclo de los nutrientes a escala global: De la autosuficiencia al despilfarro

El impacto que ha tenido la aparición de la agricultura sobre el ciclo de los nutrientes a escala global puede representarse a través de la relación entre los productores (plantas verdes), los consumidores primarios (ganado) y los seres humanos (Figura 8.3).

Antes que el ser humano practicara la agricultura, vivía en pequeñas comunidades de cazadores recolectores. Formaba parte de los ecosistemas como un componente más. Consumía los alimentos y los desechos retornaban al suelo dentro de la zona donde eran extraídos. Por tanto, existía un ciclo

cerrado de nutrientes (Figura 8.3 a). Con la aparición de la agricultura, y a través de sus distintas etapas, se produjeron diferentes impactos en la dinámica de los nutrientes. Esto estuvo asociado a la aparición de las ciudades y el éxodo del hombre a estos lugares (Abbona & Sarandón, 2013).

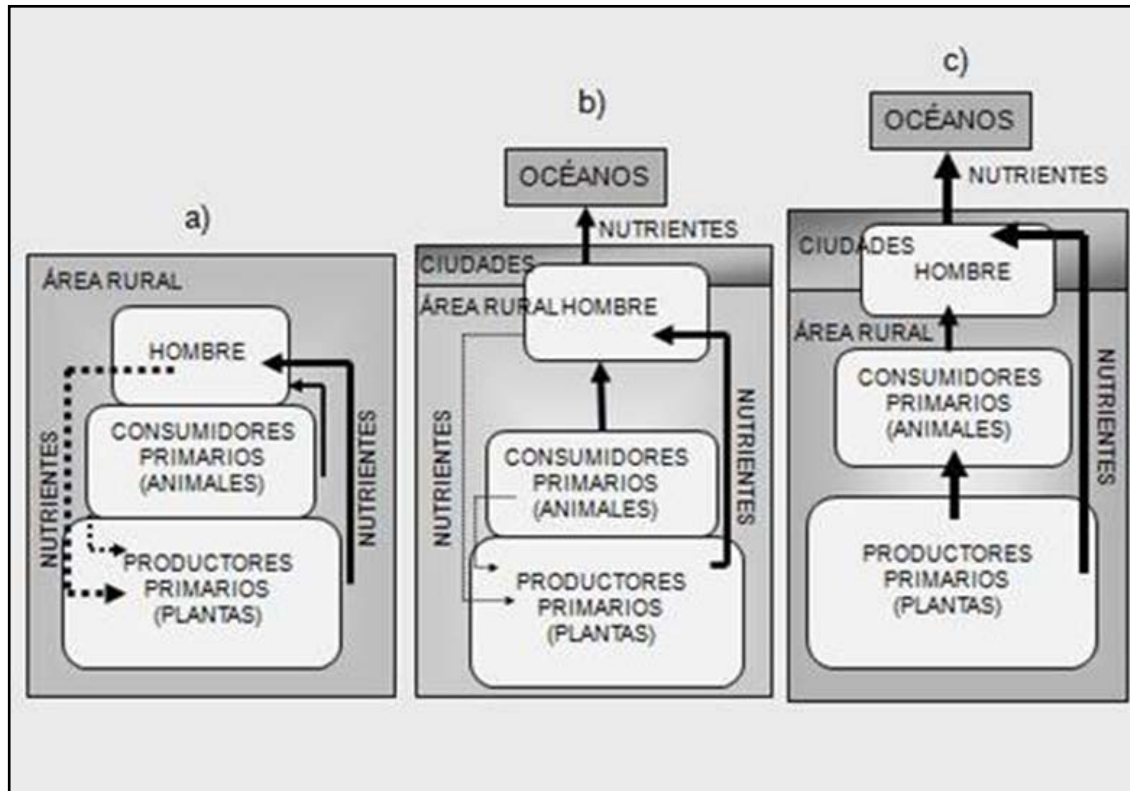


Figura 8.3: El ciclo de los nutrientes en distintos momentos desde el inicio de la agricultura. a) Pre-agricultura e inicio de la agricultura (ciclo cerrado). b) Comienzo del auge de las ciudades (ciclo semi-cerrado). c) Agricultura Industrializada (ciclo abierto)

Desde el inicio de la agricultura hace unos 10000 años, en una primera etapa, el hombre vivía mayoritariamente en el campo o en pequeñas aldeas, donde producía y extraía los alimentos en cercanías al lugar de consumo. Los desechos retornaban al suelo dentro de la zona de producción. Los animales domésticos se alimentaban en las pasturas naturales de esos suelos. Con la aparición de las ciudades y el inicio del éxodo de las personas a la ciudad, comienza la separación entre el lugar de consumo y el de producción. Los productos primarios y la carne eran transportados a las ciudades, y los

nutrientes contenidos en estos productos ya no retornaban a los lugares donde fueron extraídos, cortándose el ciclaje de nutrientes (Figura 8.3 b).

Desde la mitad del siglo XX, con la agriculturización por un lado, y con la concentración de la población en las ciudades por el otro, se acrecentó la ruptura entre producción y consumo (Abbona & Sarandón, 2013). La producción animal, que hasta el momento se basaba principalmente en el alimento obtenido de las pasturas naturales, comienza a utilizar reservas forrajeras traídas de otros lugares (exportadas de otros agroecosistemas). Se inicia de esta manera, la separación entre producción primaria (plantas forrajeras) y secundaria (ganado doméstico), con la consecuente ruptura del retorno de parte de los nutrientes consumidos por el ganado a través de forraje (Figura 8.3 c).

En los últimos 50 años, el comercio mundial creció enormemente, aumentando el flujo de nutrientes a escala planetaria: la producción en un país se consume en otro. Al estar los alimentos destinados en su mayoría, a los centros urbanos, los destinos finales de los nutrientes (vía deyecciones de los seres humanos), son los ríos y, posteriormente, los océanos. Esto ha llevado a que el flujo de nutrientes pase de ser prácticamente cerrado, a uno totalmente abierto.

Es necesario entonces reponer los nutrientes. En los sistemas agrícolas modernos, esto está basado casi exclusivamente en el uso de fuentes minerales (rocas) o fertilizantes sintéticos. Por lo tanto, de continuar este modelo en el largo plazo, las fuentes de nutrientes serán cada vez más escasas, y los sistemas tendrán cada vez más dificultad para reponer los nutrientes del suelo llevando a su agotamiento, ya que la mayoría de los mismos se encontrarán dispersos en los océanos. Aunque el contenido total de los diferentes nutrientes en el planeta, prácticamente no varía, sí lo hace la concentración de los mismos. El flujo actual de nutrientes produce una dilución que traerá, además de importantes dificultades físicas, mayores costos energéticos y económicos para su recolección y reposición a los agroecosistemas.

Si al análisis anterior, se agrega el aumento constante de la población mundial, la extracción de nutrientes seguirá creciendo en el futuro. Por eso, el análisis de los nutrientes, en los agroecosistemas, y la modificación que en ellos provoca el modelo de desarrollo elegido, resulta una herramienta de análisis indispensable para la sustentabilidad de la agricultura y de la alimentación mundial (Abbona & Sarandón, 2013).

Impacto de la agricultura sobre el ciclo de los nutrientes en los agroecosistemas

El logro de una agricultura sustentable requiere mantener constante el capital natural, y la calidad de los recursos, como un deber ético con las futuras generaciones (ver Capítulo 2). Esto significa que, en el caso del suelo, la cantidad y calidad de los nutrientes deberá mantenerse constante si queremos mantener su productividad. Para ello es esencial entonces analizar el ciclo y flujo de nutrientes con un enfoque sistémico, que permita entender los principales procesos que ocurren y el impacto que los distintos estilos de agricultura y manejos tienen sobre los mismos.

Por definición, los agroecosistemas modernos son sistemas abiertos a los nutrientes, al tener un producto de cosecha. Por esta razón, a diferencia de un ecosistema natural, un agroecosistema no puede autoabastecerse de nutrientes. Requiere la incorporación de nutrientes externa al mismo para compensar las salidas.

En los agroecosistemas (AE), la cantidad y tipo de nutrientes extraídos estarán dados por el rendimiento y la composición química de los productos “cosechados”. La apertura del ciclo de nutrientes se puede comparar a un balde con agua al cual se le hace un orificio en la parte inferior: la cantidad de agua, el volumen del balde, representa el “*contenido total*” del nutriente, el tamaño del agujero, determina el flujo de salida del nutriente. De no reponer un caudal de agua equivalente al que sale por el orificio, el balde se vaciará, tarde

o temprano. Los distintos tipos de suelos se pueden asemejar a “balde” con distinta cantidad de agua, es decir, suelos ricos o pobres en nutrientes. En ambos tipos de suelos, los nutrientes deben ser repuestos en las cantidades en que son extraídos, para evitar su agotamiento. La diferencia es que, en los suelos pobres, el problema se evidenciará antes.

La gran simplificación de la biodiversidad ocurrida en los agroecosistemas modernos respecto a los ecosistemas naturales, también influye en el ciclado de los nutrientes. En general los AE altamente simplificados tienen una menor eficiencia en el uso de los recursos (ver Capítulo 4), por lo que muchos nutrientes en el suelo no son aprovechados y, aumenta el riesgo de lixiviación o pérdida. Esto implica por un lado una menor eficiencia y mayor costo económico y, por el otro, un mayor impacto ambiental externo. En este sentido, los estilos de agricultura (orgánica, convencional, biodinámica) que realizan un manejo distinto de la biodiversidad pueden tener un impacto diferente en el ciclo de los nutrientes.

Localización y flujos de nutrientes en los agroecosistemas

El análisis del ciclo de los nutrientes en los agroecosistemas es una herramienta indispensable para una agricultura sustentable. Este análisis debe estar basado en el enfoque de sistemas, de manera de poder identificar claramente las entradas y salidas del sistema en cuestión (ver Capítulo 4). Muchos de los errores en el manejo a largo plazo de los nutrientes se deben a la dificultad de entender claramente los límites del sistema y no poder visualizar los flujos internos, entradas o salidas y la manera en que estos pueden estar influenciados por las decisiones agronómicas que se tomen.

Para un determinado agroecosistema los límites están definidos por los alambrados perimetrales (límite lateral), por la profundidad de explotación de las raíces de los cultivos (límite inferior) y la por la altura del cultivo más alto (límite superior) (ver Capítulo 4). Los componentes de un agroecosistema (AE) varían con la actividad que se realice. En una actividad agrícola, los

componentes que podemos encontrar son el suelo, el cultivo, la vegetación espontánea y los animales (meso y microfauna) (Figura 8.4.).

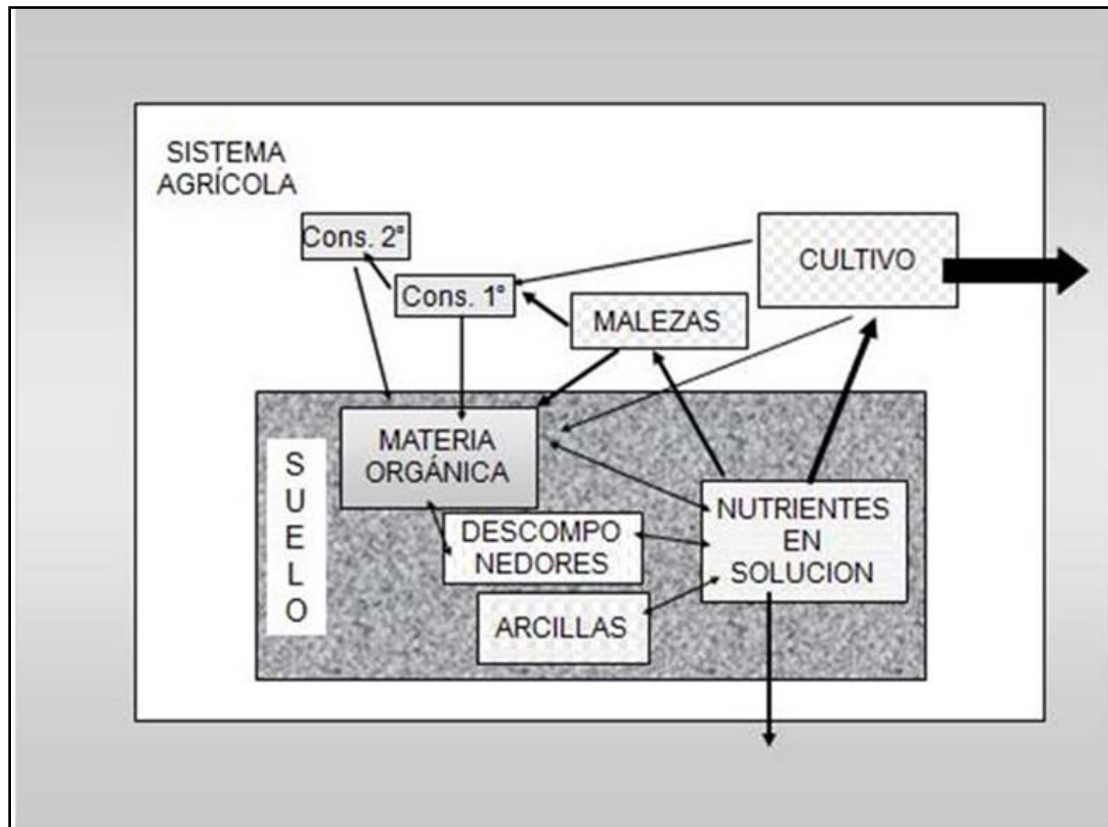


Figura 8.4: Componentes y flujos de nutrientes en un sistema agrícola

En la actividad ganadera, el componente animal (ganado), adquiere mayor relevancia (Figura 8.5).

Dentro de un AE el suelo es uno de los componentes más complejos e importantes por las funciones que en él se realizan. Posee, además, varios compartimientos que influyen en el flujo de nutrientes: la materia orgánica, los minerales (arcillas), el agua del suelo (solución del suelo) y los organismos que habitan en el mismo (macro, meso, micro fauna y flora).

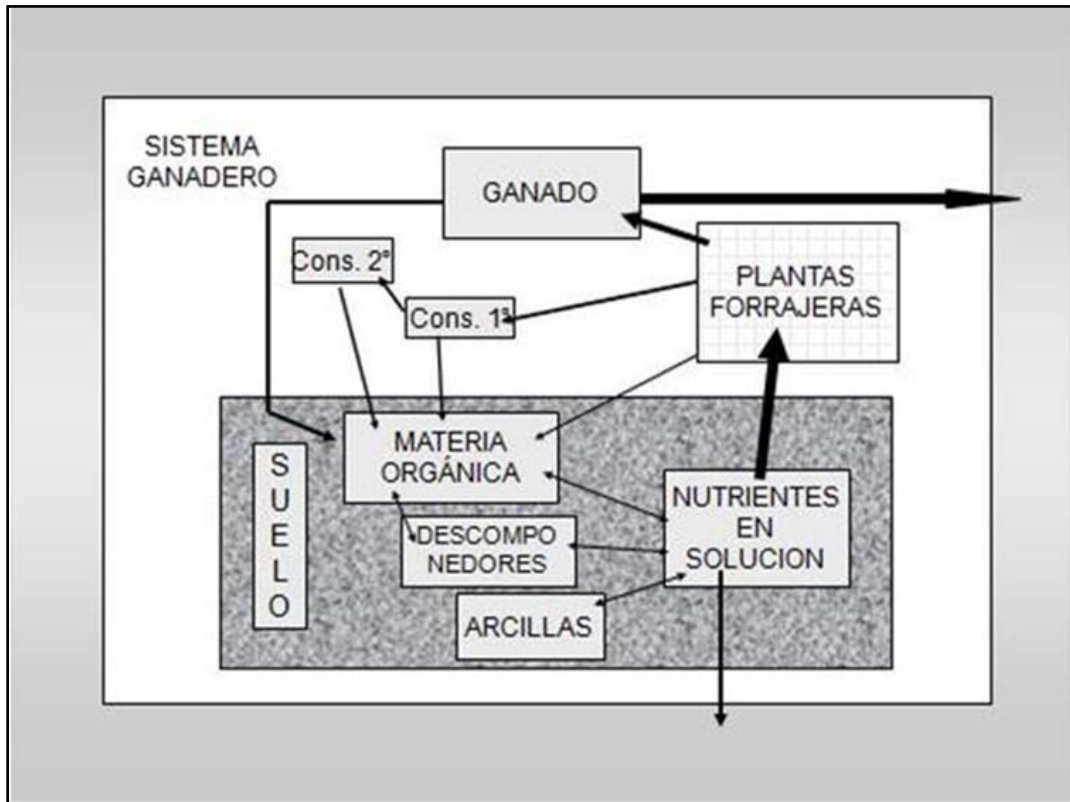


Figura 8.5: Componentes y flujos de nutrientes en un sistema ganadero

Cada compartimiento contiene nutrientes y estos, a su vez, interactúan entre sí, de manera que generan un flujo interno de nutrientes. Entre estos compartimientos existe un equilibrio dinámico en la concentración de nutrientes. Cuando esta concentración disminuye en la solución del suelo, se establece un movimiento de nutrientes hasta lograr un nuevo equilibrio. Este equilibrio, a su vez, está influenciado por factores tales como el pH del suelo.

Es importante recordar que las plantas sólo pueden disponer de los nutrientes que se encuentran en la solución del suelo, y no de aquellos adsorbidos en la materia orgánica o en las arcillas. Por lo tanto, la evaluación de la disponibilidad de nutrientes, no es suficiente para conocer el contenido total de nutrientes de nuestro suelo. Sin embargo, la mayoría de los análisis químicos del suelo evalúan la cantidad de nutrientes en solución o levemente adsorbidos, la fracción disponible. Por lo tanto, es importante saber diferenciar y distinguir entre un aumento en la disponibilidad y un aumento en el contenido total de nutrientes.

Disponibilidad de nutrientes vs. contenido total de nutrientes: Un concepto clave para un manejo sustentable

El contenido total de nutrientes del suelo es la suma de los que se encuentran en solución (agua del suelo), en las arcillas y en la materia orgánica. La fracción disponible (para las plantas) de algún nutriente es aquella que se encuentra en la solución del suelo. Puede haber un gran contenido total, pero poco de éste estar en forma disponible. Estos valores son muy dinámicos y cambiantes. Parte de los nutrientes adsorbidos en las arcillas o en la materia orgánica pueden pasar a la solución del suelo, aumentando la fracción disponible. Sin embargo, esta mayor disponibilidad, (determinada mediante análisis clásicos de suelos, por ejemplo el P) no debe confundirse con un aumento en el “contenido total” de nutrientes (generalmente conduce a lo contrario), sino un cambio en la condición de los mismos (Figura 8.6).

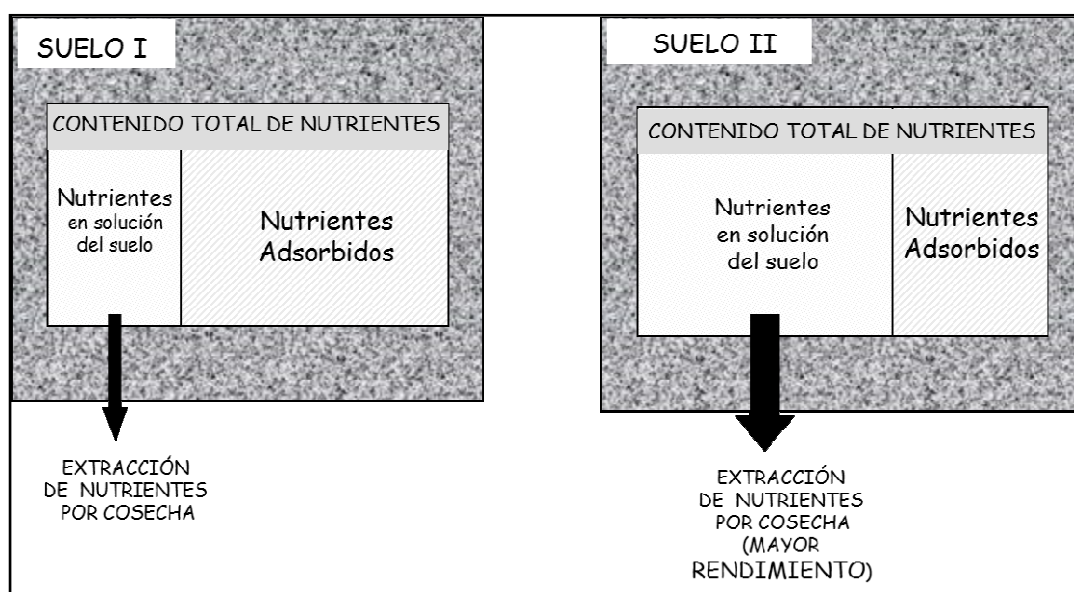


Figura 8.6. Diferencia entre contenido total y disponibilidad de nutrientes. A igual contenido total de nutrientes (suelos I y II), en el suelo II hay mayor disponibilidad (nutrientes en solución) que en el suelo I. El mayor rendimiento esperado en el suelo II determinará una mayor extracción de nutrientes. Por lo tanto, de no haber reposición, se producirá un agotamiento más rápido del contenido total de nutrientes

Un aumento en la disponibilidad de nutrientes puede producirse por variaciones en las condiciones físicas o químicas del suelo, por ej. una mayor

tasa de mineralización de la materia orgánica del suelo o por cambios de pH. Una mayor disponibilidad de nutrientes puede favorecer un mayor rendimiento del cultivo, generando una mayor extracción de nutrientes del sistema. Por tanto, en este caso, la reposición de nutrientes al sistema por fertilización o fijación (leguminosas en el caso del N), tendría que aumentar. De lo contrario, el agotamiento del suelo se produciría antes.

A pesar de la importancia que tienen estos conceptos para el manejo de agroecosistemas sustentables, no siempre está clara la diferencia entre el contenido total de nutrientes y su disponibilidad. Con los hongos micorrícicos (micorrizas) existe frecuentemente una confusión respecto a si estos aportan o no, fósforo al sistema. En general, se considera que “las micorrizas aportan fósforo al sistema” (aumento en el contenido total). Para analizar esta situación primero debemos definir claramente cuáles son los límites del sistema. Si se considera como límite inferior la profundidad de exploración de las raíces del cultivo, las micorrizas se encuentran dentro del sistema. Por lo tanto, no realizan un aporte de P al sistema (como sí lo hacen las leguminosas al incorporar al suelo el N del aire), pero si lo cambian de forma. Lo que se produce es entonces un aumento en la disponibilidad, y no un aporte “externo” de fósforo al sistema. Es decir, el contenido total de P no aumenta, sino que, por el contrario está, disminuyendo más rápidamente porque, al producirse una mayor disponibilidad, aumenta el rendimiento de los cultivos y, por lo tanto, la extracción del nutriente. Esto es, usando el ejemplo del balde, como si a nuestro balde le hiciéramos un agujero de mayor tamaño. Sale más agua, pero el balde se vacía más rápido. Este concepto, no siempre es comprendido correctamente, y la diferencia entre “contenido total” y disponibilidad, es esencial para un manejo sustentable de los nutrientes en el suelo. El uso de micorrizas es una excelente práctica para complementarla con una fertilización de reposición, principalmente en aquellos suelos donde el fertilizante fosforado queda rápidamente inmovilizado por las condiciones químicas del mismo.

Balance de nutrientes en los agroecosistemas

El mantenimiento de los recursos para las futuras generaciones es uno de los requisitos para el logro de una agricultura sustentable. Uno de los recursos más importantes es el suelo, y, en consecuencia, mantener el contenido total de nutrientes es una condición necesaria. Una herramienta adecuada y sencilla para evaluar si el manejo del agroecosistema cumple con esta condición es el balance de nutrientes, que analiza la diferencia entre las entradas y salidas de nutrientes al sistema.

Stoorvogel & Smaling (1990) han sintetizado las distintas entradas y salidas que se pueden producir en un agroecosistema (Tabla 8.1). Sin embargo, no siempre se cuenta con toda la información necesaria para calcular todas las salidas y entradas del sistema. Generalmente, para las entradas se considera la fertilización (orgánica y mineral), y, en algunos casos, se puede estimar la entrada por fijación biológica (aunque no es algo tan sencillo). Las salidas por cosecha y de rastrojo son las que normalmente se consideran, mientras que las salidas por lixiviación, volatilización y erosión son más difíciles de estimar, aunque, en algunos casos, pueden ser muy importantes, como en zonas de riego o condiciones de anaerobiosis o zonas con alto riesgo de erosión.

Entradas	Salidas
Fertilización mineral	Productos cosechados
Fertilización orgánica	Residuos de cultivo
Deposición seca y húmeda	Lixiviación
Fijación de nitrógeno	Pérdidas gaseosas
Sedimentación	Erosión de suelo

Tabla 8.1: *Parámetros a considerar como entradas y salidas de nutrientes en un agroecosistema (Stoorvogel & Smaling, 1990)*

Cálculo de entradas de nutrientes

Aunque el cálculo del balance de nutrientes puede hacerse para varios de ellos, el nitrógeno, el fósforo y el potasio (macronutrientes) y más recientemente el calcio y azufre, son los elementos que comúnmente se consideran. Para el resto de los nutrientes, a veces se tropieza con la dificultad de obtener los datos adecuados.

Generalmente, la principal entrada de nutrientes en un agroecosistema está dada por el agregado de fertilizantes, sintéticos u orgánicos. Los fertilizantes se expresan por la cantidad de nutrientes que contienen (grado), generalmente como N-P-K. A veces, pueden incluir microelementos (Mg, S, etc.). Actualmente los fertilizantes se expresan como porcentaje de peso del elemento, es decir, un fertilizante grado 18-20-0 indica que el 18% del peso del fertilizante es de nitrógeno, el 20% de fósforo y no contiene potasio. Anteriormente el grado del fertilizante sólo expresaba al nitrógeno como elemento, el fósforo hacía referencia al P_2O_5 y el potasio al K_2O . En estos casos, para obtener el porcentaje de fósforo como elemento se debe multiplicar el porcentaje de P_2O_5 por 0,44, y para obtener el porcentaje de potasio como elemento el de K_2O por 0,83 (estos factores surgen de la proporción de P y K en sus respectivos compuestos). En el caso de fertilizantes orgánicos como "compost", abonos de animales (gallina, vaca, caballo, etc.) o lombricompuestos, a excepción de los comerciales, la composición de los mismos, es mucho más compleja y variable, y se pueden obtener de tablas provenientes de distintas fuentes bibliográficas (Tabla 8.2).

La fijación biológica es otra vía de entrada de nitrógeno a los AE. Si bien existe mucha bibliografía que describe el proceso de fijación, resulta difícil encontrar datos que cuantifiquen el aporte de nitrógeno que pueden realizar las diversas especies leguminosas mediante este proceso. Heichel (1987) presentó valores de nitrógeno aportados por fijación biológica de algunas especies leguminosas (Tabla 8.3). Como vemos en la tabla, el aporte de N por la vía de fijación biológica puede ser importantísimo, hasta más de 250 Kg./Ha/año. Si tenemos en cuenta que un cultivo de maíz que rinde 10.000

Kg./ha extrae (exporta), unos 131 kg/ha de N, podremos dimensionar la importancia de esta fuente “gratuita” de N.

Abonos	Humedad %	Nitrógeno %	Fósforo % P ₂ O ₅	Potasio% K ₂ O
Vaca	83,2	1,67	1,08	0,56
Caballo	74,0	2,31	1,15	1,30
Oveja	64,0	3,81	1,63	1,25
Llama	62,0	3,93	1,32	1,34
Vicuña	65,0	3,62	2,00	1,31
Alpaca	63,0	3,60	1,12	1,29
Cerdo	80,0	3,73	4,52	2,89
Gallina	53,0	6,11	5,21	3,20

Tabla 8.2: Porcentaje de NPK sobre sustancia seca en distintos tipos de abonos animales (tomado de Pascuali, 1980)

Cultivo	Nitrógeno fijado (kg ha ⁻¹)	Referencia
Alfalfa	78-222	Heichel, 1987
Maní	87-222	Ratner <i>et al.</i> , 1979
Caupí	65-130	Alexander, 1977
Arveja	174-195	Heichel, 1987
Soja	170-217	Thurlow & Hiltbold, 1985
Lotus	49-112	Heichel, 1987
Garbanzo	24-84	Heichel, 1987
Poroto	70-124	Rennie & Kemp, 1984
Haba	177-250	Heichel, 1987
Vicia villosa	111	Heichel, 1987
Trébol blanco	164-187	Heichel, 1987
Lenteja	167-188	Heichel, 1987
Trébol rojo	68-113	Heichel, 1987
Lupino	193-247	Larson <i>et al.</i> , 1989
Sesbania sp.	267	Rinaudo <i>et al.</i> , 1983

Tabla 8.3: Reporte del nitrógeno fijado por diferentes especies de leguminosas (Fuente: Heichel, 1987)

En algunas zonas, como los humedales, el aporte de nutrientes por el agua y el sedimento puede ser importante. Por ejemplo, Abbona *et al.*, (2007) determinaron que en los viñedos de Berisso, Argentina, que crecen en zonas de inundaciones permanentes, el aporte de nutrientes del Río de la Plata permite reponer los nutrientes extraídos por la cosecha de la vid. A pesar de la

relevancia que esta entrada puede presentar para algunos sistemas como estos, su cuantificación puede resultar dificultosa.

Salidas de nutrientes del agroecosistema

La Agroecología no pretende cerrar los ciclos de nutrientes en los Agroecosistemas ya que, por definición, éstos son abiertos, como consecuencia de la exportación de un producto de cosecha. No es posible ni deseable lograr un sistema cerrado; lo que se trata es de lograr un sistema balanceado y eficiente. Esto implica que el agricultor debe tratar de optimizar las salidas de nutrientes de su sistema, buscando que sean exclusivamente a través de los productos de cosecha, evitando o minimizando las salidas por volatilización, lixiviación, y erosión. En este sentido Thomas & Gilliam (1978) señalan pérdidas de hasta el 55 % del N en sistemas de algodón irrigado en California por lixiviado, escorrentía y desnitrificación. La razón por la que deben minimizarse estas salidas es porque a) económicamente es costosa la aplicación en exceso de un fertilizante y b) este nutriente va a parar a otro sistema (aire, agua) donde genera problemas: eutrofización, contaminación de napas, efecto invernadero, entre otros.

La cantidad de nutrientes que salen por cosecha y/o por rastrojo es fácil de calcular conociendo la composición química de los diferentes productos. Las restantes salidas de nutrientes exigen una mayor complejidad de cálculo y dificultad para obtener datos, por lo cual rara vez se incluyen en el balance.

Con la composición química del producto cosechado y el rendimiento del mismo se obtiene la cantidad de los nutrientes que salen del sistema. IPNI (2013) ha desarrollado una planilla de cálculo que permite estimar la extracción de nutrientes de diferentes cultivos. Por ejemplo, un trigo que rinda 6.000 kilos por hectárea extrae aproximadamente unos 107 kg de N, 21 kg de P, 21 kg de K, 2,2 kg de Ca y 13 kg de Mg. Para obtener el porcentaje de nitrógeno se debe dividir el porcentaje de proteína por un coeficiente: 5,7 para grano y 6,25 si corresponde a estructura vegetativa.

Cálculo del balance de nutrientes

Una vez estimada la cantidad de cada nutriente que entra y sale del sistema, se calcula el balance. Este consiste en la diferencia entre las entradas y las salidas del sistema. El resultado del balance puede ser cero, positivo o negativo.

Un resultado positivo (más reposición que exportación) indica que hay acumulación de ese nutriente en el tiempo. Esto, desde el punto de vista de la disponibilidad y el contenido total, es positivo. Pero, desde el punto de vista del impacto ambiental externo, puede ser negativo si este exceso no puede ser retenido en el sistema y se lixivia, o se pierde en forma gaseosa, originando un problema en otro sistema.

Un resultado aproximado a cero indica un balance equilibrado, donde las pérdidas y ganancias están balanceadas. Para suelos bien dotados es la situación ideal. Pero para suelos pobres en algún nutriente, esto significa mantener la pobreza.

Un balance negativo, indica claramente que la extracción de nutrientes del sistema es mayor que la reposición. Es decir, el sistema se está “vaciando” más o menos rápido según la magnitud de la pérdida y el contenido total de nutrientes del suelo.

En Argentina el balance de nutrientes se ha aplicado principalmente para cultivos extensivos (Abbona & Sarandón, 2006; Darwich, 2003; Flores & Sarandón, 2003, 2008, García, 2006; Zazo *et al.*, 2011). También es necesario profundizar el empleo de esta herramienta en otras actividades como la horticultura (Flores *et al.*, 2004; Abbona *et al.*, 2011), la viticultura (Abbona *et al.*, 2004), la ganadería tanto de producción de carne (Fontanetto *et al.*, 2011) como de leche, para que las mismas puedan ajustarse a un manejo sustentable.

Posibilidades de reposición de los nutrientes

La Agroecología busca minimizar la dependencia de insumos externos al predio. Para el caso de los nutrientes esto no siempre es posible. El grado de autosuficiencia dependerá del tipo de nutriente en cuestión. Como vimos anteriormente, los nutrientes se ajustan a un ciclo sedimentario o gaseoso. Esto marca una diferencia importante a la hora de analizar las posibilidades de reposición de los nutrientes. El nitrógeno, al tener un ciclo gaseoso y poder ser fijado simbióticamente (o por bacterias de vida libre), puede ser incorporado al sistema utilizando leguminosas, en forma de abono verde o en alguna pastura (Tabla 8.3). Sin embargo, es necesario entender que la sola presencia de una leguminosa no significa, necesariamente, un aporte externo de N suficiente para contrarrestar las salidas por cosecha. En muchos casos, las leguminosas, según su manejo y destino puede extraer más N del que aporta, como es el caso de la soja. Durante mucho tiempo se pensó que, a pesar de la cosecha, aportaba nitrógeno al sistema. Sin embargo, la soja no alcanza a reponer el nitrógeno que extrae en la cosecha, sino que la fijación simbiótica representa en promedio un 50% del nitrógeno extraído, con lo cual el restante 50% del nitrógeno la soja lo toma del sistema (Darwich, 2003). Por ejemplo, una soja que rinde 3500 kg/ha, extrae (exporta) del lote unos 210 kg/ha de N. Como es una leguminosa, la mitad los ha obtenido a través de la fijación simbiótica y la otra mitad (105 kg N ha^{-1}) los ha extraído del suelo. Por lo tanto, luego de la cosecha de una soja que no se ha fertilizado, queda menos N en el suelo que antes de su cultivo. Esto ha llevado, después de mucho tiempo, a comprender la necesidad de reponer el nitrógeno en este cultivo. Los estudios que mencionan aportes (ganancias netas) de N al suelo mediante el cultivo de especies leguminosas, son aquellos casos en que los cultivos leguminosos no se cosechan y se incorporan al suelo, por ejemplo, como abonos verdes.

El fósforo y el potasio, al provenir de la meteorización del propio suelo y al tener un ciclo sedimentario, requieren para su reposición necesariamente de un aporte externo, vía fertilizantes. No es posible prescindir de ellos en un manejo sustentable. Sin embargo, muchas veces la fertilización de estos nutrientes no

responde a un esquema de mantener equilibrado el balance en el tiempo (el balde lleno), sino a decisiones basadas en la respuesta al fertilizante o su disponibilidad en los suelos. Esta forma de considerar la necesidad de fertilización, ha generado el agotamiento de muchos suelos que parecían ricos en nutrientes (Flores & Sarandon, 2003; 2008; Zazo *et al.*, 2011). Por esto, hoy en día es imprescindible incorporar la idea de mantener el contenido total de nutrientes del sistema, y utilizar el balance de nutrientes como herramienta para llevarla a cabo.

Conclusiones

Los nutrientes tienen un rol importante en el funcionamiento de los agroecosistemas. Los flujos de nutrientes deben ser considerados a fin de optimizar la producción sin degradar el recurso suelo. Es necesario entender sus ciclos y las distintas formas de reposición como parte de una nueva estrategia de manejo de los agroecosistemas, en pos de una agricultura sustentable. La conservación del contenido total de nutrientes debe convertirse en un objetivo del manejo de los sistemas, y el balance de nutrientes, una herramienta para lograrlo.

Preguntas para el repaso y la reflexión

1. *¿Cuál es la importancia de los nutrientes en los ecosistemas naturales?*
2. *¿Por qué se denominan ciclos biogeoquímicos?*
3. *Generalmente se considera que los ciclos en los ecosistemas naturales son cerrados. Analice esta afirmación. ¿Cómo se relaciona esto con la conservación de la materia?*
4. *¿Cuál es la principal consecuencia de la tiene la agricultura sobre los ciclos de nutrientes? ¿Qué influencia tiene en esto el estilo o modelo agrícola?*
5. *¿Es posible que la agricultura logre tener ciclos de nutrientes cerrados? ¿Es deseable? ¿Cómo podría lograrse?*

6. *¿Qué diferencia existe entre el ciclo de N y el ciclo del P en los agroecosistemas? ¿A que se denomina ciclos rápidos y lentos?*
7. *Muchas veces se considera que la ganadería aporta o recupera nutrientes o fertilidad. Analice esta afirmación a la luz de los conceptos vertidos en este Capítulo.*
8. *En general se ha considerado que las leguminosas aportan siempre N al suelo. Analice esta información relacionándola con el cultivo de soja, entre otros.*
9. *¿Por qué cree Ud. que es necesario mejorar nuestra capacidad de percepción del balance de nutrientes en los agroecosistemas?*
10. *¿Por qué cree Ud. que en general estos conceptos no se utilizan para recomendar las prácticas de fertilización? ¿Qué diferencias existen entre el concepto de disponibilidad de nutrientes y contenido total de los mismos en los suelos? ¿Qué consecuencias pueden tener una confusión entre estos conceptos?*
11. *¿Cómo considera Ud. que debería ser un balance de nutrientes en una agricultura eficiente desde el punto de vista agroecológico, que minimice el impacto ambiental externo?*
12. *Algunos autores consideran que los hongos micorríticos (micorrizas) pueden o tienen la capacidad de aportar P al agroecosistema. Analice esta información*
13. *Algunos autores consideran que un sistema sustentable es aquél que no requiere o utiliza dosis mínimas de fertilizantes (orgánicos o sintéticos). Analice esta información*
14. *Se dice que el compost producido dentro del establecimiento con los propios residuos es un buen fertilizante que sería suficiente para satisfacer las necesidades de producción de un agroecosistema. Analice esta información.*

Anexo: Ejercicios para cálculo y análisis de balances de nutrientes

Un productor cuenta con un establecimiento en el cual realiza trigo en un 30% de la superficie y soja de primera, en el resto. El manejo relacionado a la fertilización es el siguiente:

Trigo en siembra directa: previo a la siembra del cultivo se realiza un barbecho químico con glifosato. Luego se realiza una siembra con una densidad de 120 kg ha^{-1} y se aplican 100 kg ha^{-1} de fosfato diamónico (DAP) (18:20:0). En macollaje se realiza una aplicación de 190 kg ha^{-1} de urea (46:0:0).

Se cosecha con un rendimiento de 4200 kg ha^{-1} .

Soja de primera en siembra directa: se realiza un barbecho químico con glifosato. Luego se siembra fertilizando con 60 kg ha^{-1} de DAP (18:20:0). Se cosecha con un rendimiento de 3300 kg ha^{-1} .

La extracción (N-P-K) de los distintos granos se puede observar en la Tabla 8.4.

Cultivo	Nitrógeno		Fósforo		Potasio	
	Rango citado	Promedio	Rango citado	Promedio	Rango citado	Promedio
Trigo ^{1*}	19,8-24,2	20,5	2-3,8	3,48	2,9-5,1	3,49
Soja ^{1*}	45,9-62	57 ^{2*}	4,1-10,5	6,19	11,2-25,3	17,94

^{1*} Fuente: Flores & Sarandón (2003).

^{2*} Corresponde a extracción total, considerar que el 50% se fija por simbiosis

Tabla 8.4 Valores de extracción de Nitrógeno, Fósforo y Potasio (kg/Tonelada^{-1} de grano) para trigo y soja. Rangos y valores promedio citados en diversas fuentes bibliográficas

Actividades

1. Calcule el balance de nutrientes para trigo y soja.
2. El productor siempre decidió los tipos y dosis de fertilizantes a aplicar en los cultivos en función de los resultados obtenidos de los análisis de suelo que realiza previo a la siembra, los cuales le permiten estimar las respuestas de los distintos cultivos a la aplicación de fertilizantes.
 - 2.a. Analizando los resultados obtenidos en los balances de nutrientes para los cultivos del establecimiento ¿considera que el criterio utilizado por el productor es el adecuado para asegurar el mantenimiento del “contenido total” de nutrientes del suelo? ¿Por qué?
2. Actualmente se está considerando la “biofertilización”, principalmente con *Pseudomonas fluorescens*. Teniendo en cuenta que la acción de dichas bacterias es

favorecer la solubilización del fósforo en el suelo analice si esta alternativa es viable para asegurar el mantenimiento del contenido total de nutrientes del suelo, requisito fundamental para el logro de la sustentabilidad.

Resultados

Los mismos se encuentran en la Tabla 8.5 y fueron obtenidos empleando los valores medios de extracción de nutrientes.

	Trigo			Soja de 1 ^{ra}		
	N	P	K	N	P	K
Entrada (kg ha ⁻¹)	105,4	20	0	10,8	12	0
Salida (kg ha ⁻¹)	86,1	14,6	14,6	94	20,4	59
Balance (kg ha ⁻¹)	+19,3	+5,4	-14,6	-83,2	-8,4	-59

Tabla 8.5 Balance de nutrientes para trigo y soja

Bibliografía citada

- Abbona EA & SJ Sarandón (2006) Balance de nutrientes en actividades agrícolas en Buenos Aires, Argentina. Una herramienta para el desarrollo de políticas agrarias sustentables. Anales (CD-ROM) IV Congresso Brasileiro de Agroecologia, SESC, Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, 4pp.
- Abbona EA & SJ Sarandón (2013) Cambios en los flujos de nutrientes a escala regional y global y su vinculación con los conceptos de Demografía, Comercio Internacional y Desarrollo. VIII Jornadas Interdisciplinarias de Estudios Agrarios y Agroindustriales. Buenos Aires. 20pp.
- Abbona EA, SJ Sarandón & M Marasas (2004) El balance simplificado de nutrientes como herramienta para evaluar la sustentabilidad del manejo de viñedos en Berisso, Argentina. Revista Brasileira de Agroecologia 2 (1):1453-1456.
- Abbona EA, SJ Sarandón, ME Marasas & M Astier (2007) Ecological sustainability evaluation of traditional management in different vineyard systems in Berisso, Argentina. Agriculture, Ecosystems and Environment. 119:335-345.
- Abbona EA, SJ Sarandón & M Vázquez (2011) Balance de nutrientes como indicador del manejo sustentable del suelo y el agua en la producción hortícola a campo de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Cadernos de Agroecologia, 6, (2)5pp.
- Alexander M (1977) Introduction to soil microbiology. Second edition. John Wiley & Sons Canada, Limited, 467 pp.
- Darwich N (2003) El balance Físico económico en las rotaciones agrícolas Proyecto Fertilizar. INTA. www.fertilizar.org.ar
- Flores CC & SJ Sarandón (2003) ¿Racionalidad económica versus sustentabilidad ecológica? El ejemplo del costo oculto de la pérdida de fertilidad del suelo, durante el proceso de

- Agriculturización en la Región Pampeana Argentina. Revista de la Facultad de Agronomía 105 (1): 53-67.
- Flores CC & SJ Sarandón (2008) ¿Pueden los cambios tecnológicos basados en el análisis costo-beneficio cumplir con las metas de la sustentabilidad? Análisis de un caso de la Región de Tres Arroyos. Argentina. Revista Brasileira de Agroecología. 3 (3): 55-66.
- Flores CC, SJ Sarandón & NA Gargoloff (2004) El balance simplificado de nutrientes como indicador de la sustentabilidad en sistemas hortícolas familiares del partido de La Plata, Buenos Aires, Argentina. Anales (CD-ROM) II Congreso Brasileiro de Agroecología, V Seminário Internacional sobre Agroecología, VI Seminário Estadual sobre Agroecología, Porto AlegreBrasil.. 4pp.
- Fontanetto H, S Gambaudo & O Keller (2011) Balance de nutrientes en sistemas pastoriles. Sitio Argentino de producción animal. Disponible en: <http://www.produccion-animal.com.ar/>. 4pp.
- García FO (2006) La nutrición de los cultivos y la nutrición de los suelos. INPOFOS 29:13-16.
- Heichel GH (1987) Energy in plant nutrition and pest control. In Helsel ZR, (Ed), Elsevier Science, Amsterdam: 63-80.
- IPNI (International Plant Nutrition Institute) (2013) Cálculo de Requerimientos Nutricionales - Versión 2013. Cultivos de Cereales, Oleaginosas, Industriales y Forrajeras Disponible en <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1024>.
- Larson KJ, KG Cassman & DA Phillips (1989) Yield, dinitrogen fixation and above ground nitrogen balance of irrigated white lupin in a Mediterranean Climate. Agronomy Journal 81:538-543.
- Melgar RJ & LN Castro (2005) Fosfatos en Argentina. En: Minerales para la Agricultura en Latinoamérica. Editores: H Nielson, R Sarudiansky. Buenos Aires. pp. 26-41.
- Pascuali J (1980) El estado del reciclaje de materias orgánicas en la agricultura en Bolivia. En: "El reciclaje de materias orgánicas en la agricultura de América Latina". Boletín de Suelos de la FAO N° 51. pp 161-167.
- Ratner EI, R Lobel, N Feldhay & A Hartzook (1979) Some characteristics of symbiotic nitrogen fixation, yield, proteins and oil accumulation in irrigated petanuts. (*Arachis hypogea* L.) Pant and soil, 51: 373-386.
- Rennie RJ & GA Kemp (1984) 15 N-determined time course for N₂ fixation in two cultivars of field bean. Agronomy Journal, 76:146-154.
- Rinaudo G. D Alazard & A Moudiongui (1983) Sesbania rostrata green manure and the nitrogen content of rice crop and soil. Soil Biol. Biochem, 15:111-113.
- Stoorvogel JJ & EMA Smaling (1990) Assessment of soil nutrient depletion in sub-Saharan Africa: 1983–2000. Report 28. Winand Staring Centre, Wageningen, The Netherlands.
- Thomas GW & JW Gilliam (1978) "Agroecosystems in the Usa" in MJ Frissel (Ed) Cycling of mineral Nutrients in Agricultural Ecosystems. Elsevier Scientific, New York, :182-243 in Hauck RD and KK Tanji (1982) Nitrogen transfers and mass balance. In Nitrogen in Agricultural soils, ed FJ Stevenson, pp 891-925, WI: American Society of Agronomy
- Thurlow DK & AE Hiltbold (1985) Dinitrogen fixation by soybeans in Alabama. Agronomy Journal 77: 432-436.
- Zazo F, CC Flores & SJ Sarandón (2011) El "costo oculto" del deterioro del suelo durante el proceso de "sojización" en la región de Arrecifes, Argentina. Revista Brasileira de Agroecología. 6(3): 3-20.

CAPÍTULO 9

PRINCIPIOS DE ECOLOGÍA DE POBLACIONES

María Fernanda Paleologos y Santiago J. Sarandón

Introducción

El desafío que representa la evaluación, el diseño y el manejo sustentable de los agroecosistemas requiere un nuevo enfoque, como el que propone la Agroecología (ver Capítulo 2). Es necesario cambiar la visión atomista y reduccionista por una holística y sistémica (ver Capítulo 4) e incorporar varios conocimientos de otras ciencias afines, que nos ayuden a entender el funcionamiento de los agroecosistemas.

Uno de estos conocimientos es la ecología de poblaciones que, tal como sucedió con otros temas como la sucesión ecológica, la evolución, la biodiversidad, han sido conocimientos desarrollados, y hasta ahora abordados generalmente por las ciencias naturales. Sin embargo, resultan de una gran utilidad para el diseño, manejo y evaluación de agroecosistemas sustentables.

Como hemos visto, un agroecosistema no es más que un ecosistema modificado para producir ciertos bienes y servicios de interés económico, que de otro modo no produciría. Como todo sistema, tiene sus límites y sus componentes y las interacciones entre éstos. Son los componentes y estas interacciones los que determinan el funcionamiento de estos agroecosistemas; sus entradas y salidas, sean deseadas o no. Gran parte de los componentes son poblaciones: las especies vegetales silvestres y las cultivadas, los animales, los artrópodos, la macrofauna, etc.

Un agroecosistema puede ser visto como un conjunto de poblaciones (especies) domesticadas que interactúan con poblaciones silvestres. Un manejo sustentable consiste en minimizar las interacciones negativas y favorecer las positivas, de manera de optimizar los flujos positivos y eliminar o disminuir los flujos negativos.

El objetivo de este Capítulo es analizar el aporte que la ecología de poblaciones puede hacer para un manejo sustentable de los agroecosistemas.

Los niveles de organización

Los ecosistemas son sistemas complejos integrados por diferentes niveles de organización que, ordenados de forma creciente de complejidad, corresponden a:

<i>organismo – población (especie) - comunidad - ecosistema - bioma – biosfera</i>
--

Organismo: Ser único e indivisible con vida propia. Es decir un organismo (unicelular o pluricelular) capaz de sobrevivir por si mismo en un ambiente determinado. Por ejemplo, en un agroecosistema, un organismo, un individuo, es una planta de trigo, una planta de tomate, una oveja, una vaca, un pulgón o una araña. Nuestros agroecosistemas están repletos de estos organismos, pero, en general, no están en forma aislada, sino formando un conjunto.

Especie: conjunto de individuos con características similares, capaces de reproducirse entre sí, dejando descendencia fértil. Hay casos en que dos individuos de diferentes especies pueden reproducirse, pero sus descendientes no son fértiles: el maíz, el trigo, la papa, el cerdo, son especies domesticadas que nosotros elegimos para colocar en nuestros agroecosistemas. Además de éstas, hay muchas especies silvestres que interactúan con las cultivadas.

Población: Conjunto de individuos de la misma especie que viven en un mismo hábitat y tiempo, y que comparten ciertas propiedades biológicas, las que resultan en una afinidad reproductiva y ecológica del grupo. La afinidad ecológica se refiere a la presencia de interacciones entre ellos, resultantes de poseer requerimientos similares para la supervivencia y la reproducción, al ocupar un espacio generalmente heterogéneo en cuanto a la disponibilidad de recursos (Morlans, 2004). Los individuos de una población comparten la misma influencia de los factores físicos y biológicos ambientales. Generalmente, hemos abordado el estudio y manejo de los agroecosistemas como si estuvieran compuestos por organismos y no por poblaciones. Por ejemplo, nos

referimos al “problema del pulgón verde en trigo” cuando, en realidad, deberíamos hablar del crecimiento de la población de pulgones en la población de trigo. No es un problema semántico, sólo de lenguaje, sino que las poblaciones tienen características, y se comportan de manera diferente a los individuos y tienen propiedades que éstos no poseen, por ejemplo, variabilidad genética. Entender esto, nos evitaría muchos de los problemas que hoy tenemos en el manejo de agroecosistemas.

Pero las poblaciones no viven solas, viven junto con otras poblaciones, en una comunidad.

Comunidad: Conjunto de poblaciones que conviven en un mismo hábitat y en un tiempo dado. Por ejemplo, hablamos de población de sorgo de Alepo, pero de una comunidad de malezas.

Ecosistema: Conjunto de comunidades que conviven en un mismo hábitat y tiempo dado. Un sistema agropecuario, es un ecosistema.

Bioma: Es un conjunto de ecosistemas con algunas características similares referentes al clima y a la vegetación uniforme. En otras palabras, un bioma es una unidad de gran extensión que abarca muchos ecosistemas que se desarrollan bajo un mismo clima, y que puede identificarse por su vegetación uniforme. Debe tenerse en cuenta que un determinado clima se acompaña de una vegetación característica. Por ejemplo, hablamos del pastizal, del monte, la estepa, entre otros. La determinación del bioma donde se encuentra nuestro agroecosistema resulta fundamental para entender los límites biofísicos del mismo y las características que debemos buscar en el diseño de nuestro agroecosistema para lograr optimizar algunos procesos ecológicos y minimizar la necesidad de uso de insumos (ver Capítulo 6).

Biósfera: Conjunto de biomas en un tiempo dado.

Propiedades de las poblaciones

Cada nivel de organización posee propiedades particulares y exclusivas (que no comparte con los otros niveles). No obstante, las propiedades de un determinado nivel de organización se relacionan siempre, de alguna manera, con las propiedades de los niveles restantes, de modo tal que cada nuevo descubrimiento en uno de ellos contribuye a mejorar el conocimiento de los demás.

La dinámica de una población es importantísima en los agroecosistemas: Se refiere a su desarrollo en el tiempo y el espacio, y está determinada por diversos factores. Las propiedades biológicas (preferencias de hábitat, modo de reproducción, aprovechamiento de los recursos, etc.) en correlación con las particularidades del medio donde la población reside (factores extrínsecos) son en gran medida las responsables de las características de una población, es decir, representan las causas más importantes de sus variaciones en el espacio y en el tiempo. La dinámica de una población hace referencia, por ejemplo, a la velocidad con que una plaga se desarrolla sobre nuestro cultivo y por esta razón nos preocupa. Entender como funciona una población es de gran ayuda para desarrollar las estrategias correctas para su manejo.

Características de las poblaciones

Una población se caracteriza por sus propiedades estructurales y dinámicas (Tabla 9.1). Ambas definen a una población, pero las dinámicas están determinadas por las características estructurales. Esto tiene mucha importancia a la hora de tomar decisiones de manejo, por ejemplo, sobre un aparente problema con una población plaga, de malezas o insectos, cuya peligrosidad depende de sus características.

Las propiedades biológicas y las particularidades del medio donde la población reside determinan las características estructurales y dinámicas de una población y, por ende, sus variaciones en el espacio y en el tiempo.

Estructurales	Tamaño	Abundancia (Nº de individuos)
		Densidad (Nº de ind./Área)
	Proporción de edades	
	Proporción de sexos	
	Distribución espacial	Uniforme
		Al azar
		Agregada
Dinámicas	Tasa de natalidad	
	Tasa de mortalidad	
	Dispersión	Inmigración
		Emigración
	Curvas de crecimiento	Exponencial (Densoindependiente)
		Sigmoideo (Densodependiente)

Tabla 9.1: *Propiedades estructurales y dinámicas de las poblaciones. Modificado de Morlans (2004)*

Propiedades Estructurales

Tamaño, edad y sexo. Pirámide poblacional

Tamaño de la población: El tamaño de la población puede definirse por su abundancia y/o por su densidad. La abundancia corresponde al número total de individuos de la población y la densidad se refiere al número de individuos de la población/ unidad de área (superficie o volumen). La densidad resulta útil para la comparación de poblaciones. Muchas veces, la peligrosidad o daño de una plaga (población silvestre que interactúa con nuestro cultivo) depende de su densidad: por ejemplo, número de pulgones por hoja, número de arañuelas por folíolo, número de chinches por metro lineal. Es la densidad la que nos preocupa, la que afecta el rendimiento de los cultivos.

Proporción de edades: se refiere a la cantidad (en número o peso) de individuos de cada edad o intervalo de edad. La estructura de edades se hace más evidente en aquellas poblaciones en las que cada generación convive con la próxima generación.

Proporción de sexos: número o proporción de individuos de uno y otro sexo en la población.

La proporción de edades y de sexos en una población son las características demográficas más importantes para inferir las expectativas futuras de la misma. El tamaño de una población y sus cambios en el tiempo, dependen, en gran parte, del equilibrio entre los dos sexos y de la edad de sus componentes, lo que se explica porque la mortalidad y la fecundidad, elementos determinantes de esa evolución, están condicionadas a su vez por el sexo y la edad. Esto resulta muy importante a la hora de decidir o tomar alguna medida de control, por ejemplo contra una plaga. No es lo mismo la peligrosidad de ésta, si es una población joven en activo crecimiento, que una población envejecida, en decadencia.

La representación gráfica de la población donde se combinan abundancia, sexo y edad se denomina pirámide poblacional (Morlans, 2004). Básicamente existen tres tipos de pirámides (Figura 9.1.):

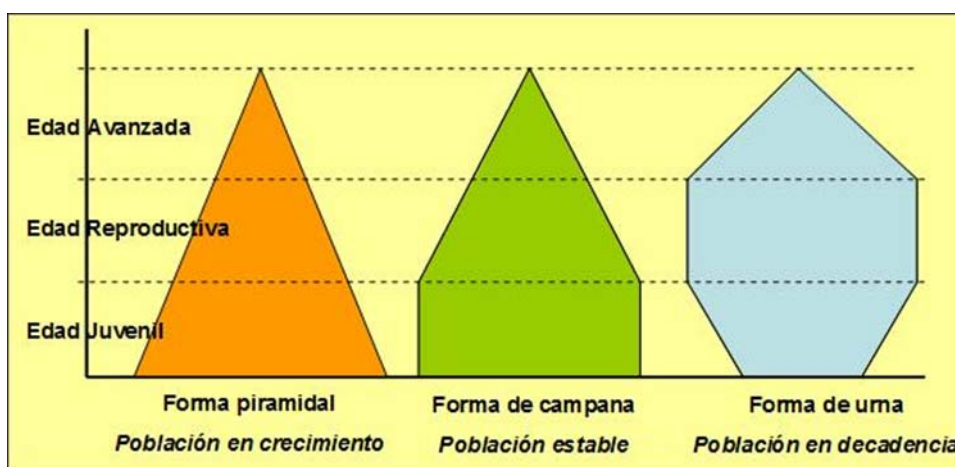


Figura 9.1: Tipos de pirámides de distribución de edades: a) población en crecimiento, b) población estable, c) población en declinación

- *Población en crecimiento*: Pirámide con base amplia dado a que los individuos jóvenes se encuentran en una alta proporción. Este tipo de pirámide es característico de las poblaciones de crecimiento rápido.

- *Población estable*: población con un porcentaje similar de los individuos en todas las edades, principalmente jóvenes y reproductivas. Este tipo de pirámide es propia de poblaciones que poseen un crecimiento estable y, en consecuencia, un tamaño estable.

- *Población en retroceso*: Esta pirámide presenta una base estrecha, con mayor cantidad de individuos en edad reproductiva que jóvenes (futuros adultos reproductivos). Es característica de poblaciones que están disminuyendo su tamaño.

Distribución espacial

Los organismos no son entidades aisladas; coexisten con otros individuos, y de la interacción de unos con otros, depende, en gran parte, la abundancia y la distribución de una población. Existen tres patrones generales de distribución de los individuos en el espacio en que habitan: al azar, uniforme y agregada (Figura 9.2) (Pianka, 1982; Morlans, 2004).



Figura 9. 2: Patrones de distribución de los individuos en el espacio: al azar, uniforme y agregado

a) *Distribución al azar*: cada lugar del espacio tiene la misma probabilidad de ser ocupado por un organismo de la población o por otro. Es decir, la

presencia de un individuo en un punto determinado no afecta la de otro en las inmediaciones. Sólo es probable donde el ambiente es muy homogéneo y los individuos no tienen tendencia a agregarse.

b) *Distribución uniforme, regular u homogénea*: los organismos se ubican en el espacio a distancias regulares o semejantes entre sí. Esta tipo de distribución es rara en la naturaleza ya que requiere de un ambiente homogéneo o continuo, y de una relación entre los individuos de la población negativa, como una fuerte competencia o cuando hay un antagonismo que obliga a una separación entre ellos. Al estar muy cerca ven disminuida su sobrevivencia. Es el típico diseño de nuestros cultivos en el campo, trigo, maíz, plantaciones de pinos, etc.

c) *Distribución agregada*: los organismos forman grupos. Ocurre cuando las características del medio son heterogéneas o discontinuas; es decir, en el ambiente existen distintos micro hábitat y sólo algunos ofrecen las condiciones óptimas para los organismos o, como suele pasar, la presencia de un organismo en un lugar atrae a otros, ya sea para la reproducción o porque actúa como una defensa contra los depredadores, resultando beneficioso para ellos. En el caso de las plantas, este tipo de distribución responde a un modo de reproducción o dispersión de propágulos, por ejemplo, de una planta madre: las semillas a su alrededor. Este tipo de distribución es la más frecuente en la naturaleza dado a la tendencia a la agregación que en general existe en los individuos, tanto plantas como animales.

Propiedades Dinámicas

Natalidad, Mortalidad y Dispersión

La densidad de una población no es constante y está sujeta a variaciones que dependen de sus niveles de natalidad, mortandad y dispersión: emigración o inmigración. Todos estos aspectos pueden ser manejados en un agroecosistema.

Los parámetros de natalidad, mortalidad, emigración e inmigración se relacionan a través de una ecuación que describe el tamaño de una población

(Pianka, 1982). En términos generales, la densidad de una población $N(t)$ en un sistema y tiempo dado responde a:

$$N(t) = N - M + I - E$$

$N(t)$: número de individuos de la población en un tiempo dado (densidad de la población)

N : cantidad de individuos que nacen

M : número de individuos que mueren

I : número de individuos que inmigran desde otros sistemas

E : número de individuos que emigran hacia otros sistemas

Tasa de natalidad: Es el aumento de la abundancia por unidad de tiempo de una población, por efecto exclusivo de la reproducción, ya sea por eclosión, germinación o división. Cada especie tiene una capacidad reproductiva propia, que determina su potencial biológico.

Tasa de mortalidad: Es el número de individuos que mueren por unidad de tiempo.

Dispersión: En general, los individuos de una población se desplazan en el espacio, lo que se denomina dispersión. Este movimiento de los individuos influye de manera directa sobre la abundancia y densidad de dicha población. La dispersión puede traducirse en emigración o inmigración. La emigración constituye el desplazamiento de los individuos hacia fuera de la población, mientras que, por el contrario, la inmigración constituye el movimiento desde fuera hacia adentro de la población. Muchas veces, cuando en un sistema de cultivos las condiciones no son favorables para alguna población plaga, por ejemplo, en sistemas de cultivos diversos o policultivos, la plaga tiende a irse hacia otros sistemas. Por el contrario, las características de nuestro cultivo, (i.e. monocultivo) pueden favorecer la inmigración, al ser preferido por la plaga sobre otros cultivos aledaños. La presencia de barreras de vegetación espontánea también puede disminuir el ingreso de poblaciones de plagas a nuestros sistemas de cultivos. Asimismo, también es muy importante tener en cuenta la distribución y características de los ambientes seminaturales (corredores biológicos) en la posibilidad de dispersión hacia nuestros sistemas de cultivos de los enemigos naturales (ver Capítulo 5).

En algunas poblaciones, como las vegetales, que no tienen movilidad, (no pueden escaparse espacialmente en situaciones desfavorables) la dispersión puede realizarse en el tiempo (escape hacia el futuro: a la espera de situaciones más favorables) por la emisión de semillas u órganos de propagación que quedan enterrados en el suelo, a veces por varios años.

Curvas de Crecimiento de las poblaciones

El tamaño de una población no es estático, sino que varía a lo largo del tiempo. Esto depende de varios factores, entre ellos las propiedades emergentes de cada población. El crecimiento de una población es una de las propiedades más importante y uno de los motivos de preocupación para los agrónomos ya que, en general, cuando se trata de poblaciones silvestres, es indeseable. Existen dos modelos de crecimiento en las poblaciones: el modelo exponencial y el modelo sigmoideo.

Crecimiento exponencial (crecimiento denso-independiente): se da en aquellas poblaciones donde la tasa de crecimiento r (individuos que nacen/ hembra/ tiempo) es constante, independientemente del tamaño de la población (Figura 9. 3).



Figura 9.3: Crecimiento de la población en el tiempo. Modelo exponencial

Estas poblaciones se encuentran en ambientes de recursos ilimitados donde no existe competencia, por lo que el crecimiento de la población está limitado únicamente por su capacidad de autorreproducirse (Hickman *et al.*, 1994a; Tyler Miller, 1994a). Las poblaciones con este tipo de crecimiento suelen alcanzar densidades muy abundantes ante la presencia de recursos disponibles y luego, sus individuos mueren catastróficamente dado que la cantidad de recursos no puede sostener a tan alta densidad o por factores naturales de mortalidad (Begon *et al.*, 1988; Hickman *et al.*, 1994a). Este es el caso de muchas plagas agrícolas que se desarrollan sobre los sistemas de cultivos modernos, (monocultivo) de gran calidad (para las plagas) y sin competidores ni enemigos naturales. En general, las plagas responden a un crecimiento exponencial. Este tipo de crecimiento también responde a aquellos grupos que presentan una estrategia de vida del tipo “*r* estrategia”.

Crecimiento sigmoideo (crecimiento denso-dependiente): se da en aquellas poblaciones donde la tasa de crecimiento (individuos que nacen/ hembra/ t) varía en función al tamaño de la población. (Figura 9.4)

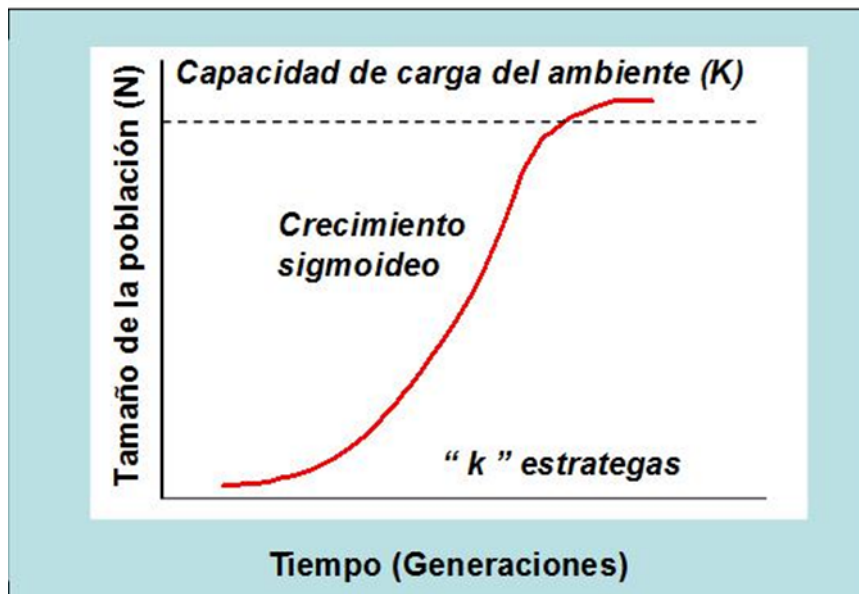


Figura 9.4: Crecimiento de la población en el tiempo. Modelo sigmoideo

Es decir, a medida que aumenta el tamaño de la población, aparece el factor de competencia por los recursos. Esta competencia intra-específica disminuye la tasa de crecimiento y, por lo tanto, disminuye el crecimiento poblacional. Las poblaciones con este tipo de crecimiento suelen alcanzar un nivel de densidad bastante estable, que fluctúa alrededor de un valor medio de densidad al que se lo denomina K (Begon *et al.*, 1988; Tyler Miller, 1994a).

En general, los enemigos naturales presentan este tipo de crecimiento. Este tipo de crecimiento también responde a aquellos grupos que presentan una estrategia de vida del tipo "*k estrategia*" (ver Capítulo 6).

Tanto las plagas como los enemigos naturales, constituyen poblaciones con características propias y con un entorno más amplio con el cual interactúan y se relacionan. Cuánto más conozcamos los factores que determinan las variaciones de las poblaciones mejor información tendremos para tomar decisiones que nos permitan disminuir o favorecer su presencia en el agroecosistema. Teniendo en cuenta los factores que determinan el tamaño de una población, desde la agricultura convencional se ha intentado controlar las plagas casi exclusivamente a través del uso de plaguicidas, aumentando la mortalidad de la población. Sin embargo, otras estrategias de manejo que actúen sobre otros aspectos de manera simultánea pueden ser más exitosas y estables (ver Capítulo 10). Si nuestra plaga es un *r estrategia*, favorecer aquellas estrategias de manejo que reduzcan su tasa de crecimiento por sobre la mortalidad puede tener un efecto importante, dado que la mortalidad es un factor que naturalmente ocurre en este tipo de estrategias. Por el contrario, si se trata de una plaga *K estrategia*, caracterizada por la poca descendencia, aumentar los factores de mortalidad puede ser lo más adecuado. En el mismo sentido, si se busca aumentar la presencia de los enemigos naturales, generalmente con una estrategia de tipo k , se debe recurrir al uso de estrategias que favorezcan la reproducción y supervivencia de la población.

A pesar de que las categorías de r y k se muestran como estrategias extremas, la mayoría de las especies poseen una combinación de ambas. Conocer estas habilidades puede ser muy útil para el entendimiento de la dinámica de las poblaciones en los agroecosistemas. La mayoría de las

especies asociadas a los agroecosistemas poseen características de tipo *r*. Esto se relaciona con el ambiente que ofrecen los sistemas agrícolas: ambientes disturbados, con suelo descubierto y una alta disponibilidad de recursos (agua, luz, nutrientes, comida) esperando ser utilizados. De ahí, que las malezas y las plagas, los principales problemas de los agroecosistemas, tengan un gran componente *r*. Por eso poseen rápido crecimiento y ocupan el ambiente y hacen uso de los recursos de manera fácil y rápida. De la misma forma, en general, las especies cultivadas también responden a estrategias *r*, ya que gran parte de la energía está retenida en el grano, porción reproductiva de la planta. Una propuesta interesante sería lograr combinar las ventajas de ambas estrategias en la especie de cultivo, o sea especies que combinen un rápido crecimiento con una buena habilidad competitiva. Además, llevar al sistema a una etapa sucesional más avanzada permitirá la presencia de especies espontáneas tanto *r* como *k* mejorando la estabilidad en el agroecosistema (Gliessman, 2003a).

Nicho ecológico, hábitat, recurso

Un concepto central de la teoría ecológica y fundamental para entender los procesos que ocurren en un ecosistema es el concepto de nicho ecológico. Este concepto ha adquirido un gran valor para la comprensión y el manejo de interacciones complejas entre poblaciones en los agroecosistemas. El nicho ecológico de una especie es un concepto abstracto, no puede definirse como un espacio físico, no puede verse ni tocarse. Este concepto está íntimamente ligado a los conceptos de competencia y recursos y es esencial para el diseño de los sistemas de policultivos y el manejo de malezas.

Hutchinson (1957) define el **nicho ecológico** como “*los límites, para todos los factores ambientales dentro de los cuales, los individuos de una especie pueden sobrevivir, crecer y reproducirse*”. El nicho incluye los *recursos* y las *condiciones* que una especie necesita para vivir y reproducirse y la diferencia entre ambos conceptos es muy importante. El *recurso* es algo que puede consumirse, agotarse, puede volverse escaso, por ejemplo, el agua, la

luz, los nutrientes, una presa, un lugar para nidificar, desovar, etc. Si un individuo consume parte del recurso, quedará menos para el otro y esto afectará su crecimiento o reproducción. Por lo tanto, por los recursos puede haber competencia.

Las *condiciones*, por el contrario, son necesarias para la vida y reproducción pero no se agotan, no se compite por ellas. Por ejemplo, la longitud del día, el fotoperíodo: es esencial para la floración de muchas especies de plantas, las que, si no tienen determinadas horas de luz, no pueden florecer y, por lo tanto, no se reproducen. Pero no se compite por ello: la presencia de un mayor número de individuos, no genera una disminución de la longitud del día.

Las especies pueden tener nichos similares o muy diferentes. Las similitudes y diferencias de nichos entre especies pueden deberse a características morfológicas, como por ejemplo, en plantas: altura, arquitectura foliar, profundidad y distribución de raíces, pero también a su funcionamiento, sus necesidades temporales: demanda de nutrientes, agua, etc. Dos especies que se parezcan morfológicamente, que tengan incluso similares requerimientos, pero desfasados en el tiempo, tendrán nichos bastante diferentes y no competirán, por lo tanto, severamente entre ellas.

Se define al nicho de una especie, como un espacio de n dimensiones, donde cada dimensión representa la respuesta de una especie a la variación de una determinada variable (pH, intensidad de luz, temperatura, humedad, disponibilidad de un nutriente, etc.). Las variables son independientes unas de otras y estarían representadas por todas aquellas condiciones ambientales y recursos que afectan la supervivencia y reproducción de la especie. Esta definición de nicho, hace referencia al **nicho potencial**, como la máxima distribución posible de la especie, controlado únicamente por sus límites estructurales e instintos, es decir, en ausencia de competidores. Por otro lado, el **nicho realizado** es el área que una especie puede ocupar en un hábitat dado y está determinada por sus interacciones con otros organismos en el ambiente (Gliessman, 2003a). Es decir, en presencia de competidores.

El nicho puede ser estrecho o amplio. Por ejemplo, para un factor, una especie puede vivir dentro de un rango de pH muy estrecho (de 7,2 a 7,4) mientras que otra especie puede tolerar un rango de pH mucho más amplio (de 6,5 a 8,2). De acuerdo con el nicho que ocupan, las especies pueden ser clasificadas en *especialistas* y en *generalistas*. Los especialistas, son organismos con un nicho muy estrecho, con adaptaciones y actividades para un hábitat especial. Es decir, pueden vivir sólo en un tipo de hábitat, toleran un margen reducido de condiciones ambientales y poseen una dieta muy selectiva. Son, en general, características de especies tipo k, que predominan en ambientes maduros. Por el contrario, los generalistas poseen un nicho amplio, es decir, tienen la capacidad de adaptarse rápidamente a cambios en las condiciones ambientales y utilizan un rango amplio de recursos (Gliessman, 2003a; Tyler Miller, 1994b). Predominan en ambientes con gran disponibilidad de recursos, como los disturbados, típicos de gran parte de los agroecosistemas. Es posible que un nicho amplio de algún generalista equivalga a (o “contenga”) varios nichos estrechos de especialistas, en sistemas avanzados de la sucesión.

Es importante diferenciar el concepto de nicho del concepto de hábitat. El ***hábitat*** es el lugar que reúne las condiciones adecuadas para que una especie pueda perpetuarse. Es decir, un hábitat incluye varios nichos. Por ejemplo, un lago, una pradera, un bosque, un maizal, son hábitats, donde pueden vivir muchas especies que ocupan diferentes nichos. A diferencia del nicho, el hábitat sí hace referencia al espacio donde toma lugar la especie, por eso se suele decir que el hábitat es la “dirección” y el nicho la “ocupación o función” de la especie en el ecosistema (Gliessman, 2003a).

El concepto de nicho se relaciona estrechamente con el concepto de competencia. Cuando dos especie tienen nichos similares (son especies “parecidas”) puede haber riesgo de competencia porque quiere decir que se comportan de manera similar y requieren los mismos recursos. La superposición de nichos entre dos especies lleva, ante recursos escasos, a la competencia entre dichas especies. El grado de competencia dependerá, entre

otros factores, del grado de superposición de sus nichos y la escasez de los recursos.

Interacciones biológicas

Cuando abordamos las características de los Agroecosistemas (ver Capítulo 4) señalábamos que un sistema es un conjunto de componentes (en este caso biológicos) que interactúan de manera tal de conseguir un objetivo: en nuestro caso, un flujo de bienes y servicios. Es decir, tanto los componentes, como las interacciones entre ellos son fundamentales para su correcto funcionamiento. Sorprendentemente, las Ciencias Agropecuarias han estado mucho más preocupadas en entender los componentes (cultivos, plagas, animales, malezas, etc.) que las interacciones entre estos. Las consecuencias de este enfoque reduccionista se han discutido previamente (ver Capítulos 1 y 2).

Entender las interacciones entre los componentes de los agroecosistemas resulta, por lo tanto, fundamental para un manejo sustentable.

Las poblaciones de una comunidad interactúan entre sí, de diferentes maneras. Desde el enfoque predominante en la agricultura convencional, los cultivos han sido vistos como una población casi aislada del resto de las poblaciones, excepto por los efectos negativos generados por las malezas, plagas y enfermedades. Sin embargo, en las comunidades presentes en los agroecosistemas, las interacciones pueden ser positivas para una o para ambas poblaciones participantes. Es decir, una comunidad es el resultado de interacciones positivas y negativas que están ocurriendo entre y dentro de las poblaciones que la componen. El diseño y las estrategias de manejo que elegimos para nuestro agroecosistema, determina el tipo y la intensidad de estas interacciones. De esta manera, podemos potenciar o disminuir los efectos negativos o positivos. Estas interacciones, son las que determinan la capacidad de supervivencia y reproducción que cada una tenga en esa comunidad. En la tabla 9.3 se muestran algunas de las interacciones biológicas que ocurren en una comunidad.

Interacción	Población A	Población B	Efecto de la interacción
Competencia	Población A (-)	Población B (-)	Ambos organismos se perjudican
Alelopatía	Población A (-)	Población B (0)	Uno se perjudica y el otro no se ve afectado
Predación	Predador (+)	Presa (-)	Una especie se beneficia y la otra se perjudica
Parasitismo	Parásito (+)	Hospedador (-)	Un organismo se beneficia y el otro se perjudica
Mutualismo (Simbiosis)	Simbionte A (+)	Simbionte B (+)	Ambos organismos se benefician

Tabla 9.3: Interacciones biológicas entre poblaciones. Se indica con (+) cuando una especie se beneficia de la relación, con (-) cuando resulta perjudicada y con (0) cuando la relación resulta indiferente

La **competencia** es tal vez una de las interacciones más importantes en los agroecosistemas. La competencia es un fenómeno que ocurre cuando los individuos que crecen juntos o que comparten un mismo hábitat, utilizan o comparten recursos que no se encuentran en cantidades suficientes para ambos. Esto genera la disminución del crecimiento de ambos componentes, es perjudicial para ambos, aunque puede serlo en distinto grado o intensidad (dependiendo de su capacidad competitiva).

El requerimiento simultáneo de un mismo recurso por parte de dos especies o dos individuos de la misma especie, genera, si el recurso es escaso, una competencia entre ambos individuos por dicho recurso. O sea, para que exista competencia, se deben dar dos factores: un recurso escaso y una superposición de nichos.

Para que ocurra competencia entre dos especies, se deben dar dos factores: que los recursos sean escasos y que dichas especies superpongan sus nichos ecológicos.

La superposición de nichos puede presentar distinto grado de solapamiento, lo que a su vez, estará en relación con la magnitud de la competencia entre ellas (Figura 9.5). A mayor solapamiento, mayor riesgo de competencia (depende si existen recursos escasos). Esta competencia puede

darse entre individuos de la misma especie (intraespecífica) o entre individuos de diferentes especies (Interespecífica). Ambas son muy comunes en los agroecosistemas.

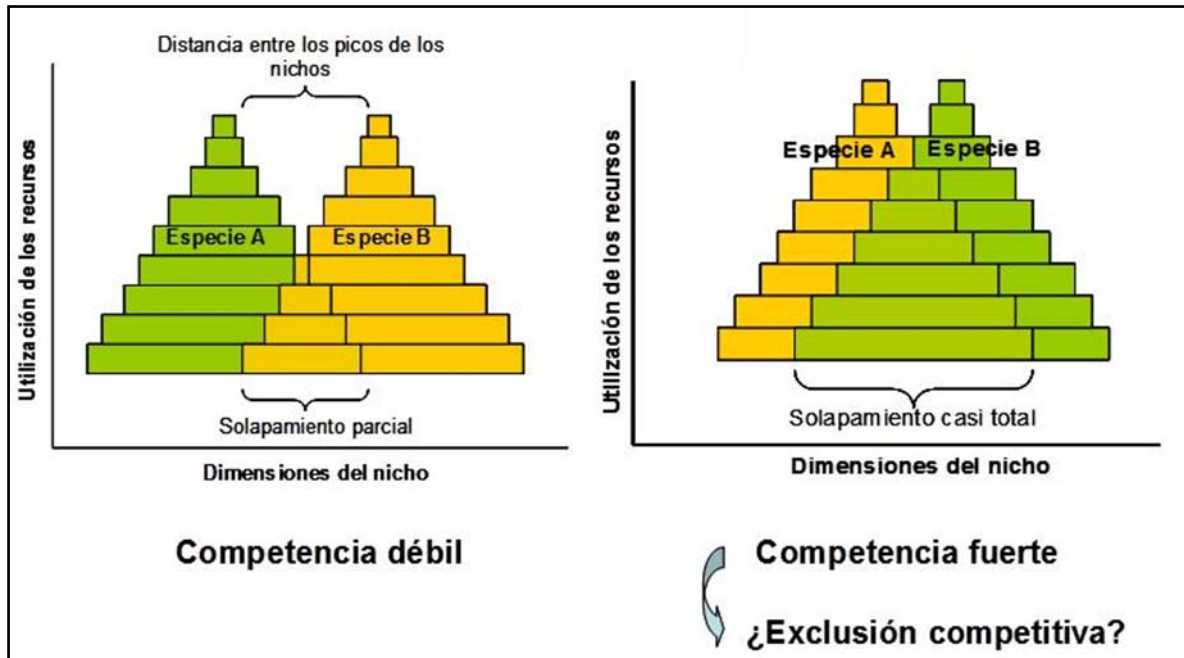


Figura 9.5: Tipos probables de solapamiento de nichos para dos especies (A y B) y su competencia entre las mismas

La **competencia intraespecífica**, se da entre individuos de la misma especie. Es muy común en los agroecosistemas, por ejemplo, en un cultivo de trigo o maíz, donde sembramos juntos muchos individuos de la misma especie. Observamos una disminución del crecimiento de cada individuo debido a la presencia del otro, pero lo que nos interesa en nuestros sistemas de cultivos es la producción por superficie (de la población), y no la producción individual. La densidad de siembra adecuada es la que logra optimizar el uso de los recursos (agua, luz, nutrientes) por la población y no por el individuo. Si colocamos pocos individuos, el crecimiento de cada uno de ellos será mayor, pero el rendimiento por superficie puede ser mucho menor, al no lograr aprovechar todos los recursos disponibles. Si, por el contrario, ponemos demasiados individuos, la competencia intraespecífica puede ser tan intensa que el

rendimiento por individuo será bajo o casi inexistente y el rendimiento por superficie se verá seriamente perjudicado.

Existe otra competencia que tiene enorme importancia en los sistemas agropecuarios: la **competencia interespecífica**. Esta se da cuando diferentes especies (poblaciones) comparten parcialmente el “nicho” y, además, existe un recurso de uso común que no está en cantidades suficientes como para mantener a ambas. Este es el caso de la competencia entre nuestros cultivos y las malezas, y entre las malezas entre sí. El resultado es una reducción en la fertilidad, el crecimiento y/o la supervivencia de una o ambas especies.

La competencia puede alterar las poblaciones, las comunidades y la evolución de las especies involucradas. Es importante destacar que las especies intervinientes en una relación de competencia definirán su habilidad competitiva respecto de la otra dependiendo de las condiciones ambientales y del factor por el cual se esté compitiendo. Es erróneo definir a una especie como buena o mala competidora; su habilidad competitiva estará en estrecha relación a las condiciones ambientales en las que se encuentre, al factor por el que se compita y a las características de la otra especie interviniente (Gliessman, 2003b; Tyler Miller, 1994b).

La habilidad competitiva de una especie depende de las condiciones ambientales en las que se encuentre, al factor por el que se compita y la otra especie interviniente.

Por ejemplo, en una competencia entre dos especies (A y B), la especie A puede ser mejor competidora (más agresiva) que la B, cuando el nitrógeno es escaso. Si agregamos nitrógeno, (vía fertilización) la agresividad relativa de las especies puede variar, ya que, al dejar de ser el N el factor escaso, la competencia podrá ser entonces por luz, agua o algún otro factor. Recordar que según la ley del mínimo de Liebig, siempre el factor más escaso es el que impone un límite al crecimiento. En este sentido, la capacidad competitiva de las especies puede variar al variar el recurso escaso.

La **alelopatía** es otra importante interacción en los agroecosistemas. Se refiere a los efectos perjudiciales (alelopatía negativa) o benéficos (alelopatía

positiva), como resultado (directo o indirecto) de la acción de compuestos químicos, que liberados por una planta al medio, ejercen su acción en otra (Molisch, 1937). En todo fenómeno alelopático una planta libera compuestos químicos al medio ambiente por una determinada vía (por Ej. lixiviación, descomposición de residuos, etc.), los cuales provocan un efecto perjudicial o benéfico sobre la germinación, el crecimiento o desarrollo de otra planta (Blanco, 2006). Los compuestos alelopáticos que desencadenan el proceso se denominan compuestos, agentes o sustancias alelopáticas. Algunos residuos de cultivos, como el centeno, trigo, trigo sarraceno, mostaza negra (*Brassica nigra*) ó sorgo granífero (*Sorghum bicolor*) han sido mencionado con efectos alelopáticos negativos (Overland, 1966). Muchos agentes alelopáticos, además de tener un efecto sobre plantas, también los tienen sobre otros tipos de organismos distantes a estas, como los herbívoros e insectos fitófagos.

A diferencia de la competencia, donde el efecto negativo en el crecimiento y desarrollo es debido a la reducción en la disponibilidad de recursos comunes, en la alelopatía tiene su origen en compuestos químicos liberados por una planta que afecta a otra (Blanco, 2006).

Otra interacción muy común en agroecosistemas es la **predación**, en la que intervienen el predador y la presa. En esta interacción los individuos de la población predadora matan a los individuos de la población presa para alimentarse de ellos (pertenecen a distintos niveles tróficos). En general, una población presa es víctima de más de una especie predadora y, éstas a su vez, generalmente, tienen a más de una especie como presa. Los predadores suelen tener un tamaño relativamente mayor que sus presas y además, consumen numerosas presas a lo largo de su vida (Hickman *et al.*, 1994a; Tyler Miller, 1994b). Un ejemplo de depredadores importantes son los coccinélidos (vaquitas o mariquitas) que se alimentan, en todos sus estadios de desarrollo, generalmente de pulgones, provocando una gran mortandad. Las arañas son otro excelente ejemplo de predadores abundantes e importantes en los agroecosistemas, como enemigos naturales o fauna benéfica que puede ser incentivada o promovida por el manejo adecuado de la biodiversidad (ver Capítulos 5 y 10).

En la interacción de **parasitismo**, la población parásita se alimenta de la población hospedadora, pero, a diferencia de la predación, el parásito es de un tamaño mucho menor al del hospedador y sólo tienen un hospedador a lo largo de su vida. Los parásitos que viven dentro del organismo hospedador se llaman endoparásitos y aquellos que viven fuera, reciben el nombre de ectoparásitos. Un parásito que mata al organismo donde se hospeda es llamado *parasitoide* (Hickman *et al.*, 1994a; Tyler Miller, 1994b). En este grupo se ubican los microhimenópteros, importantísimo grupo que parasita entre otras especies, a los pulgones con gran efectividad.

El **mutualismo** es una interacción que ocurre entre dos poblaciones en la cual ambas obtienen un beneficio mutuo. Dentro del mutualismo, la interacción de mayor importancia para la agricultura es la simbiosis. La **simbiosis** es una asociación mutualista ya que ambos componentes se benefician. La relación simbiótica más conocida y de mayor importancia para la agricultura es la *Rhizobium*- Leguminosa, a través de la cual la bacteria transforma el N₂ atmosférico en nitrógeno disponible para la planta. La fijación biológica de nitrógeno a través de relaciones de simbiosis se estima en un aporte de 65 millones de toneladas métricas de nitrógeno al suelo al año, por lo que reviste una gran significación agrícola (Azcón- Aguilar *et al.*, 1983) que se analiza en el Capítulo 8.

Principio de exclusión competitiva y coexistencia

El **principio de exclusión competitiva** señala que dos especies no pueden ocupar el mismo nicho ecológico en el mismo hábitat. Si existen recursos limitados, eventualmente una especie excluirá a la otra, dado un determinado período de tiempo, mediante la “exclusión competitiva”. Este principio también es conocido como la ley de Gause (1934).

Aunque es cierto que dos poblaciones no pueden ocupar el mismo nicho al mismo tiempo y en el mismo lugar, frecuentemente existe una superposición en sus nichos que produce un cierto grado de competencia entre las poblaciones en la naturaleza. Como hemos visto (Capítulo 4) los ecosistemas

naturales se caracterizan, entre otras cosas por una gran diversidad de especies. Esto quiere decir que coexisten muchas especies porque sus nichos, aunque pueden parecer similares a primera vista, no lo son, sino que son complementarios. La complementariedad de nichos mejora la utilización y aprovechamiento de los recursos. Este concepto es muy importante para el diseño de sistemas de policultivos. Como la selección favorece la disminución de la competencia, es frecuente que, con el tiempo, se llegue a la diversificación de nichos.

Es así que, las poblaciones intervinientes pueden “evadir” la competencia, a través de mecanismos como cambios en las características físicas (modificación del largo de la raíz) o fisiológicas (utilización del mismo recurso en diferentes momentos) para reducir la superposición de nichos existentes. En este caso las especies reducen la competencia y logran **coexistir** en el mismo hábitat (Hickman *et al.*, 1994a). Conocer los mecanismos que hacen posible la coexistencia puede ser fundamental para el diseño y manejo de agroecosistemas (Gliessman, 2003b).

En general, las poblaciones intentan “evadir” la competencia a través de cambios físicos o fisiológicos, reduciendo la superposición de nichos existentes, logrando así coexistir en el mismo hábitat.

Conclusiones

El manejo sustentable de los agroecosistemas implica conocer y entender las poblaciones que forman parte de él (las domesticadas y las silvestres: malezas, vegetación natural, plagas, enemigos naturales, etc.). Estas poblaciones tienen características distintas a las sus componentes aislados y, además, forman en su conjunto, una comunidad que se relaciona con el medio. Es importante, además entender las distintas relaciones que se establecen entre los seres vivos y entre éstos y su entorno. La Agroecología busca generar y aplicar diseños y estrategias de manejo que favorezcan las relaciones

positivas entre las poblaciones y comunidades y disminuyan las negativas, a fin de evitar y minimizar el uso de insumos innecesarios.

Preguntas para el repaso y la reflexión

- 1- *Analice los conceptos de ecosistema, comunidad y población en los agroecosistemas. ¿Cuál es la importancia de entender la ecología de las poblaciones en los agroecosistemas?*
- 2- *¿Cuáles son las diferencias entre las propiedades estructurales y dinámicas de una población?*
- 3- *¿De qué depende el patrón de distribución espacial de una población?*
- 4- *Compare los crecimientos exponencial y sigmoideos de una población. ¿Bajo qué condiciones puede esperarse que una población presente un crecimiento exponencial y bajo cuáles uno sigmoideo?*
- 5- *¿Con qué tipo de estrategia de vida (r o k) se encuentran asociadas, en general, las especies de malezas y de plagas? ¿Y a los enemigos naturales? ¿Cómo lo relaciona con las condiciones que ofrece un agroecosistema?*
- 6- *¿Qué interacciones pueden resultar beneficiosas y cuáles perjudiciales para los cultivos en los agroecosistemas?*
- 7- *Defina el concepto de nicho. ¿Cuál es la diferencia entre recursos y condiciones? Dé un ejemplo.*
- 8- *¿Cuál es la diferencia entre nicho y hábitat?*
- 9- *¿En qué se diferencia el nicho potencial del nicho realizado?*
- 10- *¿Cuál es la relación entre nicho y competencia? ¿De qué depende la intensidad de la competencia entre dos especies?*
- 11- *¿Siempre que dos especies compartan el mismo hábitat habrá competencia entre ellas? ¿De qué depende?*

Bibliografía citada

- Azcón-Aguilar C, JM Barea & J Olivares (1983) Simbiosis Rhizobium- leguminosa. Investigación y Ciencia. Scientific American: 82: 84-93.
- Begon M, JL Harper & CR Townsed (1988) Ecología: individuos, poblaciones y comunidades. Ed. Omega, Barcelona, Cap. 6:205-248.
- Blanco Y (2006) La utilización de la alelopatía y sus efectos en diferentes cultivos agrícolas. Cultivos Tropicales. Vol.: 27 (3) Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas- Cuba. Pp. 5-16.
- Gause GF (1934) The struggle for existence. Baltimore, MD: Williams & Wilkins. Pp: 163. Disponible en: <https://archive.org/stream/struggleforexist00gauz#page/n177/mode/2up>
- Gliessman SR (2003a) Agroecología: Procesos ecológicos en la agricultura sostenible. Capítulo 13: Procesos poblacionales en la agricultura: dispersión, establecimiento y el nicho ecológico: 181- 194.

- Gliessman SR (2003b) Agroecología: Procesos ecológicos en la agricultura sostenible. Capítulo 15: Interacciones de especies en comunidades de cultivos: 215- 227.
- Hickman CP, LS Roberts & A Larson (1994a) Zoología. Principios integrales. 9° Edición. Mc Graw- Hill/ Interamericana de España, S.A. Capítulo 41: Ecología Animal: 1052-1072.
- Hickman CP, LS Roberts & A Larson (1994b) Zoología. Principios integrales. 9° Edición. Mc Graw-Hill/ Interamericana de España, SA, Capítulo 10: Evolución orgánica: 216- 255.
- Hutchinson GE (1957) Concluding Remarks. Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol. 22: 415-427.
- Tyler Miller Jr. G (1994a) Ecología y medio ambiente. Grupo Editorial Iberoamericana. Capítulo 6: Cambios en las poblaciones, comunidades y ecosistemas: 158-175.
- Tyler Miller Jr. G (1994b) Ecología y medio ambiente. Grupo Editorial Iberoamericana, Capítulo 4: Los Ecosistemas: ¿Qué son y cómo funcionan?: 87- 115.
- Molisch H (1937) Der Einfluss eine Pflanze auf die andere: Allelopathie. Jena: Gustav Fischer, 106 p.
- Morlans MC (2004) Introducción a la ecología de poblaciones. Área de Ecología. Editorial Científica Universitaria - Universidad Nacional de Catamarca.
- Overland L (1966) The role of allelophatic substances in the "smother crop" barley. Am. J. Bot. 53: 423-432.
- Pianka E (1982) Ecología Evolutiva. Ed. Omega, Barcelona. Pp: 376.

Parte 3

BASES ECOLOGICAS PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DE AGROECOSISTEMAS

CAPÍTULO 10

PRINCIPIOS PARA EL MANEJO ECOLÓGICO DE PLAGAS

María Fernanda Paleologos y Claudia C. Flores

Introducción

Luego de la Segunda Guerra Mundial, con el advenimiento de la Revolución Verde, se produjo el desarrollo y uso masivo de plaguicidas químicos los que han sido, desde entonces, la estrategia predominante para el control de plagas a nivel mundial.

Actualmente, este uso intensivo de agroquímicos está siendo crecientemente cuestionado, no sólo por las consecuencias ambientales que los mismos generan, sino también por los impactos negativos en la salud de las personas (ver Capítulo 1). Además, su uso no ha logrado “eliminar” las plagas, tal como se asumió que sucedería.

Limitar o prescindir del uso de insecticidas en la agricultura, requiere un cambio filosófico para abordar la problemática de las plagas: la idea de eliminar los fitófagos potencialmente plaga de los sistemas agrícolas (que ha primado hasta el momento) sólo puede conducir al fracaso. Hay que asumir que los mismos son parte del agroecosistema, que biológicamente es prácticamente imposible eliminarlos y que, por lo tanto, hay que cambiar la lógica de “*eliminar y controlar*” por la de “*manejar y mantener*” las densidades de las poblaciones plaga en niveles que no produzcan un daño económico. Esto implica avanzar hacia un Manejo Ecológico de Plagas (MEP) que logre compatibilizar la regulación de insectos perjudiciales con la conservación de los recursos naturales y la salud de los consumidores y de los trabajadores rurales.

El objetivo de este Capítulo es analizar los principios básicos del MEP y su contribución al logro de la sustentabilidad de la agricultura.

El concepto de plaga

Durante muchos años se ha calificado como plaga a cualquier ser biótico que presentara cierta relación alimenticia con alguna especie vegetal de interés económico. Como consecuencia, se han considerado como tales a muchas especies raramente abundantes y cuyas densidades poblacionales eran insuficientes para ser consideradas verdaderamente plagas. De ahí la importancia de tener en cuenta el riesgo de daño económico para definir a un organismo como tal.

En este sentido, sólo pueden ser consideradas plagas *aquellas especies de artrópodos fitófagos presentes en un sistema agrícola que son capaces de desarrollar poblaciones abundantes y causar daños a los cultivos disminuyendo su producción o deteriorando la calidad del producto con el consiguiente perjuicio económico* (Greco *et al.*, 2002).

Nivel de Daño Económico y Umbral Económico

Para que una especie fitófaga genere riesgos de pérdidas significativas de producción (y, por lo tanto, pueda ser considerada plaga) deben darse ciertas condiciones que permitan el desarrollo de la población hasta densidades de riesgo. Por esto, es importante familiarizarse con algunos parámetros que permiten ampliar los conocimientos para definir la presencia de una plaga y tomar decisiones de manejo.

Entre estos parámetros, el concepto de nivel de daño económico ha sido el más exitoso. El nivel de daño económico (NDE) se interpreta como la *densidad poblacional de la plaga en la cual el costo de la medida de control iguala al beneficio económico esperado por la acción de la misma* (Figura 10.1). Es decir, que la acción de control “salva” una parte del rendimiento, el cual se hubiera perdido si no se hubiese tomado la decisión de hacer el control y cuyo valor económico es superior a la medida de control involucrada. Tal como lo señalan Greco *et al.* (2005), los valores de NDE son variables y deben

ser establecidos previamente teniendo en cuenta no sólo la plaga y las condiciones presentes para su desarrollo, sino también el cultivo, su estado de desarrollo, la zona geográfica de la cual se trate y los costos de control a utilizar, entre otras cosas. Es importante tener en cuenta que, al momento de analizar y trabajar con umbrales de daño, el cálculo de los costos debería contemplar otros aspectos adicionales al costo monetario de acceder al insecticida (ver Capítulo 3).

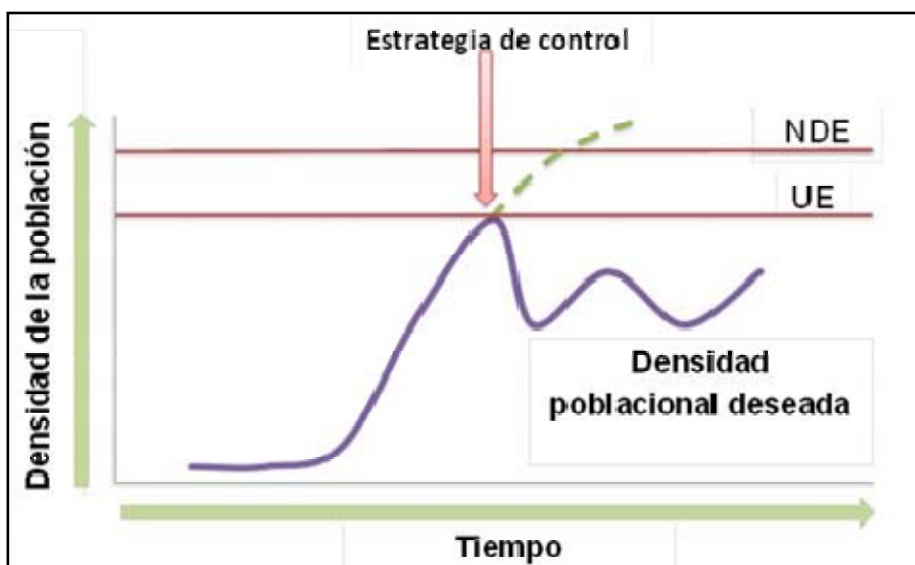


Figura 10.1: Nivel de Daño Económico (NDE) y Umbral económico (UE)

Para que una especie fitófaga sea considerada plaga su densidad poblacional debe ser tal que cause un perjuicio económico mayor al costo que implica utilizar una medida de control.

El concepto de NDE se ha usado, en general, para apoyar decisiones de manejo en el marco de la agricultura convencional con técnicas de control supresivas basadas en el uso de plaguicidas. Sin embargo, este concepto puede ser utilizado desde un enfoque más amplio, donde las técnicas de control estén destinadas a prevenir y mantener las poblaciones a niveles por debajo del NDE.

El concepto de NDE va asociado al concepto de umbral económico. El umbral económico o umbral de acción (UE) es la *densidad poblacional de la*

plaga en la cual se debe iniciar la acción de control para evitar que la población sobrepase el Nivel de Daño Económico en el futuro (Figura 10.1). El umbral de acción (UE) es una densidad menor que el NDE para brindar el tiempo necesario para que el método de control seleccionado ejerza su efecto (tiempo que transcurre entre la estimación de la densidad o monitoreo y el control efectivo de la plaga). El UE, tiene en cuenta el tiempo de acción que requiere la medida de control y la dinámica poblacional de la plaga. Esto dificulta su estimación, pero en forma práctica se determina como el 50 por ciento del NDE.

El NDE y el UE pueden tener valores muy diferentes o valores similares. Esto dependerá del tiempo de acción de la medida de control. El NDE y el UE serán muy parecidos cuando la medida utilizada para el control de la plaga tenga un tiempo de acción rápido (por ejemplo, el uso de un insecticida). Por el contrario, cuando la medida de control requiera un tiempo para actuar sobre la plaga (por ejemplo la liberación de un enemigo natural), el UE será un valor mucho más bajo que el NDE.

Las plagas: una mirada desde el enfoque agroecológico

La aparición de plagas, al igual que otros problemas que enfrenta la agricultura, se debe a la creación de condiciones ambientales que propician su desarrollo y aumentan la vulnerabilidad de los agroecosistemas. La creación de estas condiciones propicias para el desarrollo de las plagas está vinculada al enfoque reduccionista de la Revolución Verde, que siempre ha visualizado a las plagas como un problema al que había que controlar.

Desde el enfoque agroecológico se plantea un análisis sistémico para la comprensión de la problemática de las plagas. Los fitófagos potencialmente plagas se analizan como un componente más del agroecosistema, con características propias y que interactúan y se relacionan con el entorno (ver Capítulos 4 y 9).

Dentro de la trama trófica de un agroecosistema, la vegetación cultivada y espontánea conforma el primer nivel trófico, el de los organismos autótrofos. Luego, los fitófagos potencialmente plagas forman parte del segundo nivel trófico (organismos heterótrofos), dado que encuentran su fuente de alimentación en la vegetación. A su vez, estos organismos fitófagos son fuente de alimento para los predadores y parasitoides que conforman el tercer nivel trófico. Por último, es posible encontrar organismos que componen un cuarto nivel trófico. En este nivel encontramos, además de algunos predadores, a los hiperparasitoides, los que parasitan y se desarrollan alimentándose de los parasitoides. A aquellos organismos que a través de una relación de predación o parasitismo (parasitoides e hiperparasitoides) se alimentan de insectos perjudiciales y pueden contribuir a su control en los agroecosistemas se los denomina enemigos naturales (Figura 10.2).

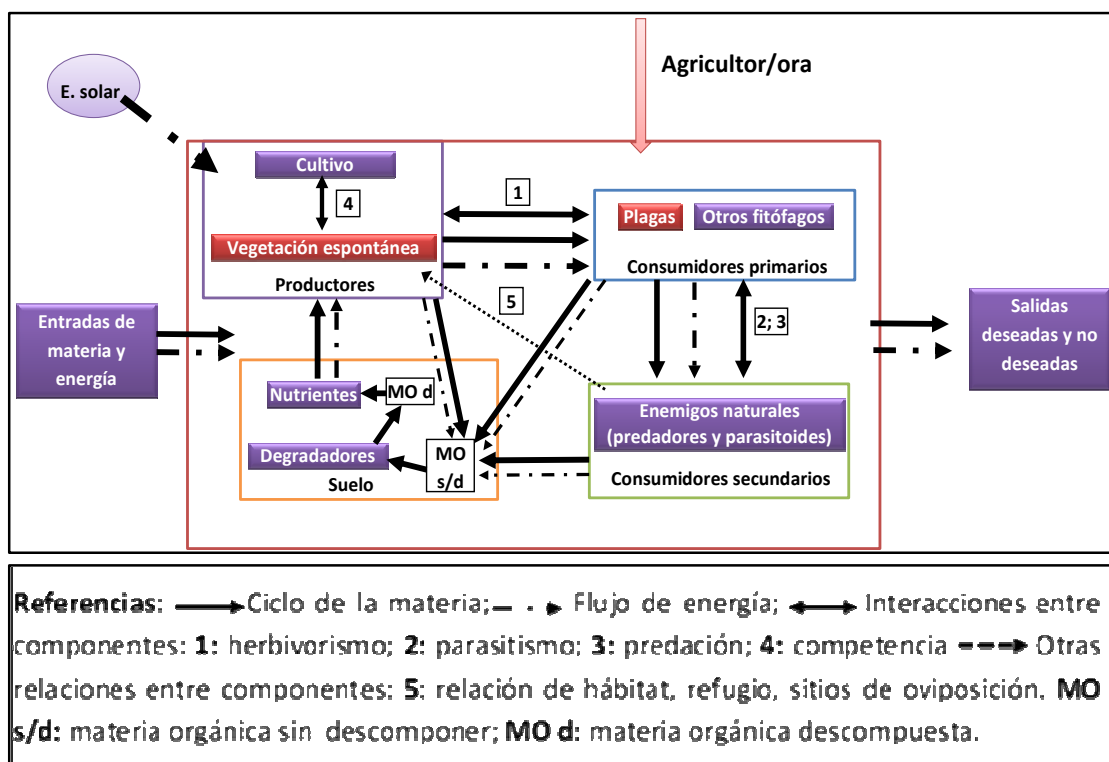


Figura 10.2: Diagrama simplificado de un agroecosistema hipotético: trama trófica, interacciones y relaciones entre componentes, ciclo de la materia, flujo de la energía

En el funcionamiento agroecosistémico, los componentes no sólo se relacionan a través de la trama trófica, sino que también se dan interacciones de competencia entre componentes diferentes y/o dentro de un mismo componente (ver Capítulo 9). Todas estas relaciones constituyen los factores bióticos que determinan la densidad de cada población presente.

El objetivo de este análisis sistémico, propio de la Agroecología, es comprender cómo funcionan estas relaciones y cuáles son los factores que favorecen el incremento de la densidad poblacional de los fitófagos potencialmente plaga dentro del agroecosistema. El objetivo es aplicar estrategias simultáneas que actúen, no sobre el problema en sí, sino sobre las causas que favorecen su desarrollo.

Desde el enfoque agroecológico, en lugar de intentar responder a la pregunta ¿cómo controlar la plaga una vez que ha aparecido?, pregunta central del enfoque de la Revolución Verde, se trata de responder a la pregunta de ¿por qué aparecen las plagas? con el objetivo de actuar para evitar su aparición.

Hipótesis que explican la aparición de las plagas en los agroecosistemas

A fin de entender por qué aparecen las plagas en los agroecosistemas, se han desarrollado varias hipótesis. Entre ellas se destacan la “Hipótesis de la concentración del recurso” y la “Hipótesis del enemigo natural” (Root, 1973).

Hipótesis de la concentración del recurso

En los sistemas agrícolas altamente simplificados, como los monocultivos, existe una reducción extrema de la diversidad, tanto específica, como estructural, funcional y fenológica (ver Capítulo 5). Esto lleva a que la vegetación cultivada, recurso alimenticio de las plagas, se encuentre disponible combinando una alta calidad alimenticia, alta disponibilidad y fácil localización. Por el contrario, en un sistema diverso (por ejemplo, un policultivo), la gran

gama de colores y olores liberados por la vegetación dificulta la ubicación del alimento por parte de los insectos. En un sistema simplificado, como los agroecosistemas actuales, la ausencia de esta condición favorece la localización del alimento por parte de los individuos fitófagos, dando como consecuencia la explosión de la población. Esto se explica si se tiene en cuenta que, en la naturaleza, todos los recursos disponibles tienden a ser utilizados. Es decir, una gran disponibilidad de alimento, como lo es un monocultivo para los fitófagos, llevará a que la densidad de la plaga crezca para poder hacer uso de todo ese alimento disponible.

Hipótesis del enemigo natural

La reducción de la diversidad en los sistemas agrícolas actuales lleva a una simplificación de la calidad y cantidad de microhábitats presentes. Estos microhábitats ofrecen las condiciones necesarias para el desarrollo y supervivencia (sitios de refugio, oviposición, fuentes de alimentos alternativas) de muchos grupos de organismos con funciones importantes, como los enemigos naturales. Es así que en agroecosistemas con baja diversidad, los organismos controladores de plagas no encuentran las condiciones óptimas para su presencia, afectando drásticamente su abundancia en el sistema.

Tanto la hipótesis de la concentración del recurso como la hipótesis del enemigo natural coinciden en que la principal causa de la aparición de plagas es la baja diversidad vegetal presente en los sistemas agrícolas.

Mecanismos “Bottom- up” y “Top- down”

La dinámica poblacional de la plaga está establecida por las características de su ciclo de vida, así como también por la intensidad y la forma de acción de los agentes de mortalidad bióticos y abióticos (ver Capítulo 9).

Existen factores naturales que modifican las tasas de natalidad y mortalidad de las poblaciones plaga. Estos están definidos por las interacciones entre la plaga y el nivel trófico inferior, el de los productores (mecanismos “*Bottom-up*”), y con el nivel trófico superior, el de los consumidores secundarios (mecanismos “*Top-down*”), mecanismos que suelen actuar conjuntamente con diferente intensidad relativa. Es decir que las poblaciones plaga están reguladas en su crecimiento por la disponibilidad de lo que comen y por quién las come en forma simultánea (Figura 10.3).

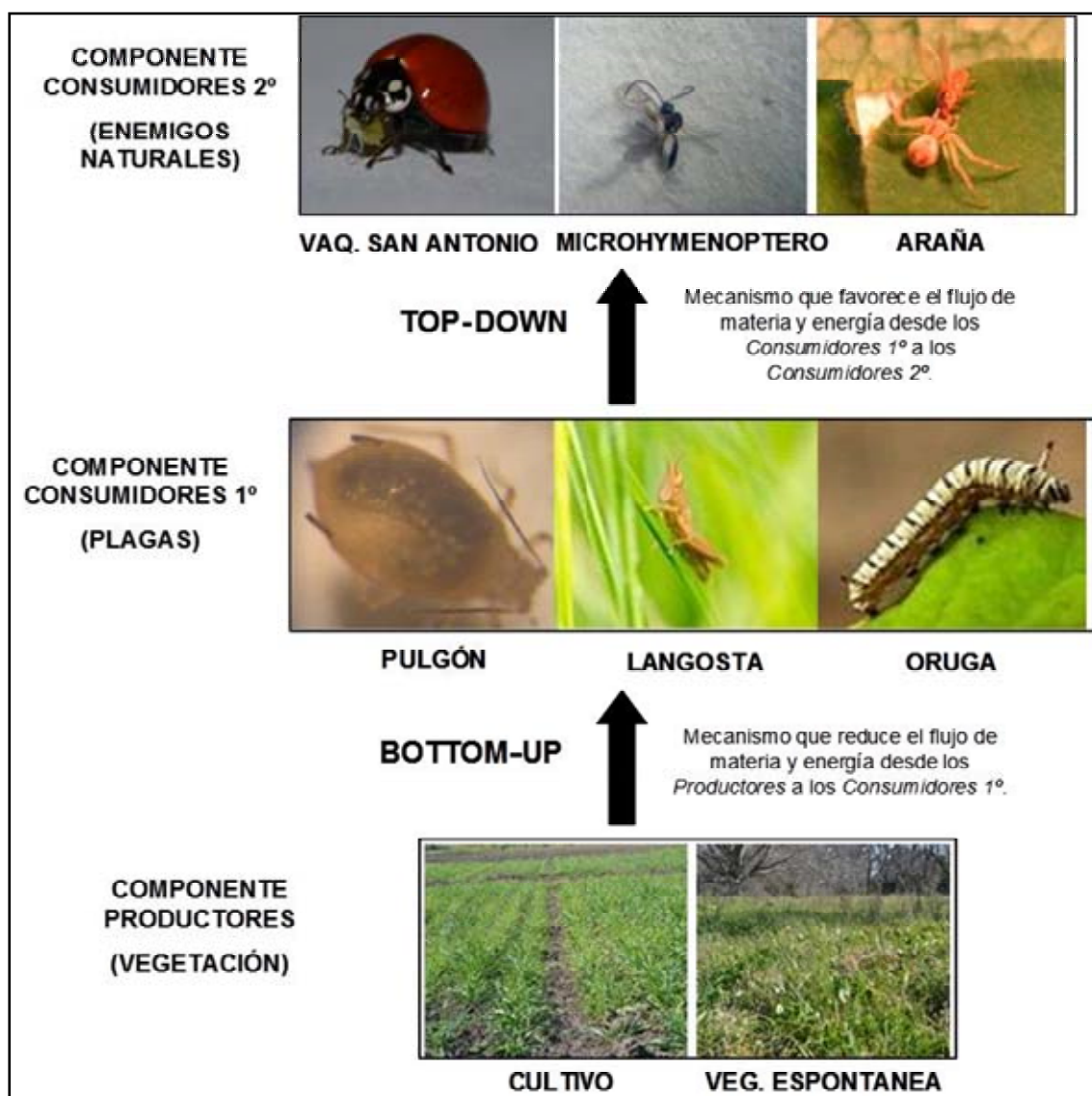


Figura 10.3: Mecanismos de control “Bottom- up” y “Top- down” y su efecto sobre el componente plaga.

Fotos: Luciana Saldúa

En los agroecosistemas, aquellas estrategias de manejo que buscan alterar esta relación de “comer” y “ser comidos” y favorecer así la regulación de insectos plagas son denominadas “*Bottom-up*” y “*Top-down*”.

Las estrategias “*Bottom-up*” son aquellas que tienden a modificar la calidad del recurso alimenticio (cultivo) para que no sea apetecible o fácilmente localizable por la plaga. Estas estrategias, en general, tratan de contrarrestar las causas del origen de las plagas asociada a la hipótesis de la “concentración del recurso”. Ejemplos de estrategias de control “*Bottom-up*” son la utilización de asociaciones de cultivos y/o de variedades resistentes.

Las estrategias “*Top-down*” son aquellas estrategias que tienden a contrarrestar las otras causas del origen de las plagas asociada a la hipótesis del “enemigo natural”. Un ejemplo de estrategias de control “*Top-down*” es el control biológico por enemigos naturales.

La Teoría de la Trofobiosis

La teoría de la Trofobiosis desarrollada por Francis Chaboussou, sostiene que una planta “sana” es menos atacada por insectos, nematodos, virus y bacterias que una planta “enferma”. Es decir, una planta cuyas funciones metabólicas se cumplen de manera óptima y eficiente presenta una mayor resistencia y se torna menos deseable para los organismos plaga y enfermedades (Chaboussou, 1967).

Esto se basa fundamentalmente en la síntesis y lisis de proteínas. Cuanto más eficiente sea la síntesis de proteínas en el metabolismo de la planta cultivada, menor será la cantidad de aminoácidos y moléculas simples que queden circulando por su savia y mayor será la resistencia de la planta (Restrepo Rivera, 1994). En consecuencia, la resistencia de la plantas al ataque de plagas y enfermedades es favorecida por una nutrición equilibrada, diversa en nutrientes, que promueve la proteosíntesis (formación de proteínas) o sustancias complejas en su savia, que organismos simples como las plagas y patógenos no pueden digerir.

Contrariamente, la descomposición de proteínas o proteólisis provoca un exceso de sustancias solubles en la savia, como aminoácidos, azúcares y minerales solubles, los que reduce la resistencia de la planta a las adversidades. Esta mayor disponibilidad de sustancias simples torna a la planta más atractiva para los insectos, nematodos, hongos y bacterias. Esto es porque en las plantas “enfermas” estos organismos encuentran su alimento parcialmente digerido, permitiéndoles así metabolizarlo más rápido ahorrando una gran cantidad de energía, la que quedará disponible para su reproducción.

Hay varios aspectos que determinan que una planta crezca de manera sana o enferma, es decir existen aspectos que favorecen una proteosíntesis adecuada y otros que la alteran o favorecen la proteólisis, dejando una savia rica en compuestos simples (Tabla 10.1).

Uno de los ejemplos más estudiados en relación a estos procesos es el de los desequilibrios causados por la aplicación de fertilizantes inorgánicos de alta solubilidad (por ejemplo urea y triple quince). Estos provocan un elevado contenido de N no proteico en las plantas el cual parece ser un indicador de la calidad de la planta hospedante para los herbívoros (Hernández Medina *et al.* 2009). Por ejemplo, Schupan (1974) en un estudio de largo plazo, comparó los efectos de la fertilización orgánica y sintética en el contenido nutricional de cuatro hortalizas (espinaca, papa, zanahoria y repollo crespo) y encontró que las hortalizas orgánicas contenían niveles más bajos de nitratos y niveles más altos de potasio, fósforo y hierro que las convencionales. Esto se relacionaba con una menor incidencia de plagas en los sistemas orgánicos. En el mismo sentido, Altieri *et al.* (1998) encontraron que los monocultivos de brócoli fertilizados convencionalmente fueron más susceptibles a los ataques de *Phyllotreta cruciferae* y de *Brevicoryne brassicae* que los sistemas de brócoli fertilizados orgánicamente. Esto se atribuyó a los bajos niveles de nitrógeno libre en el follaje de las plantas fertilizadas orgánicamente. Por su parte, Brodbeck *et al.* (2001) encontraron que las poblaciones del trips *Frankliniella occidentalis*, fueron significativamente altas en tomates que recibieron altas tasas de fertilización nitrogenada.

Un ejemplo de susceptibilidad al ataque de plagas relacionado con el desequilibrio hídrico en las plantas es el que describe Polack (2008). Este autor observó que, en cultivos de pimiento, aquellas plantas que habían sufrido un pequeño o leve stress hídrico se volvían más apetecibles para los pulgones y mostraban, en consecuencia, un mayor daño que aquellas plantas que no habían sufrido ningún tipo de stress durante su crecimiento.

Aspectos determinantes	Acción sobre el metabolismo	Estrategia de manejo
Variedad adaptada a las condiciones del lugar	Mayor capacidad de absorción de nutrientes por las raíces y mayor capacidad fotosintética de las hojas.	Buscar variedades nativas
Condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo.	Una estructura adecuada, variedad de nutrientes y diversidad biológica aumentan la disponibilidad de nutrientes, su absorción y permiten una selección adecuada por parte de las plantas.	Abonos orgánicos Bajo uso de agroquímicos
Disponibilidad de luz y humedad	Una luz adecuada favorece una correcta síntesis de proteínas.	Variedades adaptadas a las condiciones de la zona. Buscar condiciones adecuadas de luz y humedad en función a los requerimientos del cultivo.
Bajo uso de insumos tóxicos	Favorece una adecuada respiración, fotosíntesis y proteosíntesis.	Reducir el uso de insecticidas y herbicidas
Apropiada fertilización	Permite una adecuada concentración de nutrientes disponibles favoreciendo el crecimiento, el funcionamiento metabólico y la síntesis adecuada de proteínas.	Abonos orgánicos

Tabla 10.1: Aspectos que determinan el crecimiento de plantas sanas: acción sobre el metabolismo y estrategias de manejo deseables (basada en Chaboussou, 1967)

En síntesis, el grado de resistencia o sensibilidad que un cultivo presente ante las adversidades estará relacionado fundamentalmente al tipo de manejo productivo. Un manejo de tipo convencional, basado en pocas variedades universales y un alto uso de insumos químicos, altera las condiciones del suelo y, en consecuencia del propio cultivo, haciéndolo a este último más susceptible al ataque de plagas. Un manejo basado en principios agroecológicos, que

priorice los procesos naturales del agroecosistema permite el crecimiento de cultivos más sanos y con mayor resistencia a las plagas y enfermedades.

Manejo ecológico de plagas

Las dificultades que presenta el uso de pesticidas para el control de plagas hace necesario el desarrollo de estrategias de manejo basadas en principios más ecológicos. El Manejo Ecológico de Plagas (MEP) se refiere al manejo de un conjunto de técnicas adecuadas que en base a la diversidad biológica y a la calidad del suelo estimulan y protegen el equilibrio biológico y ecológico (Olivera, 2001). A través del mismo se pretende prevenir, limitar, o regular los organismos nocivos en los cultivos, aprovechando todos los recursos y servicios ecológicos que la naturaleza brinda (Pérez Consuegra, 2004).

Un manejo ecológico de plagas (MEP) implica un cambio filosófico frente al problema de plagas. La idea de eliminar o erradicar las plagas de los sistemas agrícolas sólo nos llevará al fracaso, debemos aceptar que las plagas son parte del agroecosistema.

El manejo ecológico de plagas requiere cambiar el pensamiento de “eliminar y controlar” por el de “manejar y mantener” la densidad de la población a niveles aceptables, es decir, por debajo del NDE.

Hay rasgos que definen al MEP (Pérez Consuegra, 2004):

1) Los individuos plaga son considerados parte integral del agroecosistema. Esto requiere un conocimiento del agroecosistema y de cómo los procesos naturales son alterados por los objetivos agrícolas. Conocer el agroecosistema nos permitirá desarrollar estrategias de manejo que permitan

reducir o aumentar los factores naturales de natalidad (estrategias “*Bottom-up*”) y mortalidad de la plaga (estrategias “*Top-down*”).

2) Conocer, en la medida que sea posible, el nivel de daño económico de la plaga. Esto permitirá determinar a qué densidad de la población se espera una pérdida económica. No todas las densidades de una población causan suficiente pérdida como para justificar un esfuerzo de manejo. Entender y dimensionar los “costos ocultos” (ver Capítulo 3).

3) Se deben usar estrategias de control simultáneas, que tiendan a actuar sobre los estados más vulnerables de la plaga. Las técnicas utilizadas deben evitar un impacto negativo sobre otros componentes del sistema.

Estrategias para el Manejo Ecológico de Plagas

Cuando se piensa de manera sistémica, se pueden identificar estrategias de manejo a distintos niveles. Podemos encontrar estrategias de manejo a nivel cultivo y estrategias de manejo a nivel de agroecosistema. En las primeras estrategias se intenta alterar la capacidad intrínseca la planta cultivada de responder o hacer frente a un insecto plaga. Por otro lado, a nivel de sistema, se encuentran aquellas estrategias que intentan modificar o alterar el ambiente buscando reducir su susceptibilidad al ataque de plagas.

Estrategias a nivel de cultivo

Variedades resistentes: Son variedades de cultivo que poseen características que las hacen menos susceptibles al ataque de plagas, o que pueden mantener su rendimiento a pesar de sufrir daño. Su utilización forma parte de las estrategias de tipo “*Bottom-up*”:

Según los mecanismos de resistencia las plantas pueden clasificarse en 3 tipos:

No- preferenciales: las plantas poseen ciertas características que la hacen menos atractiva como alimento y lugar de oviposición para los insectos.

Tolerantes: plantas que logran compensar el daño causado por los insectos, recuperando gran parte de la biomasa perdida y manteniendo su rendimiento.

Antibióticas: plantas con defensas físicas (pelos, espinas, tricomas) o químicas (toxinas) que resultan en un aumento de la mortalidad o reducción en la longevidad y reproducción del insecto plaga. Las defensas físicas causan daño mecánico e impiden el movimiento y oviposición de los insectos. Las defensas químicas consisten en compuestos químicos que se vuelven secundariamente tóxicos al ser digeridos por el herbívoro, afectando su supervivencia y fecundidad. Estos compuestos tóxicos suelen encontrarse en las partes jóvenes de la plantas o en lugares que requieren de mayor protección. Como ejemplo de variedades antibióticas encontramos ciertas variedades de maíz y de avena con resistencia a insectos vectores del virus que produce el llamado “mal de Río Cuarto” (Costamagna *et al.*, 2005) una de las enfermedades más importantes del maíz.

Si bien la interacción planta - plaga es la base de estas estrategias, se requiere el conocimiento de otras interacciones que ocurren en el sistema, por ejemplo las tritróficas (en las que interviene la planta, la plaga y el EN). Greco *et al.*, (1998) encontraron que, aunque en caña de azúcar, la pilosidad en las hojas parece ser un carácter que reduce el ataque de plagas, en el cultivo de maíz, dicha pilosidad no sólo no afecta la oviposición por parte de la plaga (*Diatraea saccharalis*), sino que, además, afecta negativamente la tasa de parasitismo por parte de su enemigo natural (*Trichogramma* sp.). Es así que, la comprensión de estas interacciones tritróficas permite optimizar las medidas de control.

Plantas genéticamente modificadas: Las plantas transgénicas se encuentran dentro de la clasificación de variedades resistentes de antibiosis. Las mismas contienen uno o más genes que han sido insertados en forma artificial en lugar de que la planta los adquiera mediante cruzamiento. La

secuencia génica insertada (llamada el transgen) puede provenir de otra planta no emparentada o de una especie por completo diferente: por ejemplo, el maíz *Bt* (utilizado para el control de lepidópteros, en especial *Diatraea saccharalis*), que produce su propio insecticida, contiene un gen de una bacteria (*Bacillus thuringiensis*). Los cultivos transgénicos podrían clasificarse como plantas con resistencia de tipo antibiótica aunque, a diferencia de éstas, poseen la toxina a lo largo de todo el cuerpo vegetal, por lo que la exposición del insecto a la misma es completa. Esto puede favorecer, debido a la alta presión de selección ejercida sobre la plaga, la aparición de formas resistentes (ver Capítulo 6). Además, favorece la aparición de plagas secundarias (ej.: fitófagos no lepidópteros)

Si bien algunos cultivos transgénicos permiten reducir el uso de insumos químicos en el campo y, por lo tanto, el efecto dañino de estos productos sobre los enemigos naturales y sobre el ambiente, presentan otros riesgos y efectos negativos que deben tenerse en cuenta:

- Riesgo de escape de transgenes hacia otras especies silvestres emparentadas haciéndolas resistentes a insecticidas y difíciles de controlar.
- Generación de resistencia de la plaga: La alta presión de selección generada sobre la población plaga por la presencia de la toxina en todo el cultivo genera, en unas pocas generaciones, una alta resistencia de la plaga a dicha toxina (ver Capítulo 6).

Estrategias a nivel de agroecosistema

Control biológico: El control biológico consiste en el uso de uno o más organismos para reducir la densidad de una planta o animal que causa daño al hombre (DeBach, 1964). Así, el control biológico puede definirse como el uso de organismos benéficos (enemigos naturales) contra aquellos que causan daño (plagas) (Nicholls Estrada, 2008). El control de plagas por medio de enemigos naturales forma parte de las estrategias de tipo “*Top-down*”:

Van den Bosch *et al.* (1982) utilizan la expresión “control biológico” con dos acepciones: 1) la introducción de los enemigos naturales por el hombre y el

manejo que éste hace de ellos para controlar las plagas, al que llaman control biológico aplicado y 2) el control espontáneo en la naturaleza, sin la intervención del hombre, que denominan control biológico natural.

La utilización de enemigos naturales como estrategia para el control de plagas se basa en mecanismos “*Top-down*”. Para un control por enemigos naturales, es importante conocer la biología de la plaga y de su/s enemigos naturales. Además, la simple condición de que un organismo se alimente de la plaga no lo convierte en un eficaz enemigo natural. En general se ha asociado la efectividad de los enemigos naturales al cumplimiento de características como la especificidad, la alta capacidad de búsqueda y tasa de ataque, así como a la alta tasa de crecimiento y persistencia en la interacción con la plaga.

Los enemigos naturales pueden ser clasificados, según su modo de acción en predadores y los parasitoides (Tabla 10.2).

Existen diferentes formas de uso de los enemigos naturales en los agroecosistemas:

Importación de especies exóticas: estas especies pueden utilizarse para controlar plagas exóticas (Control biológico clásico) o plagas nativas (Control biológico neoclásico). Sin embargo, es importante considerar cuál será el rol de este individuo exótico en el nuevo ecosistema al que se incorpora. Se deben explorar previamente tanto los nichos que se encuentran disponibles para su establecimiento, previniendo una posible competencia, desplazamiento o extinción de especies nativas, así como los potenciales mecanismos naturales de control, reduciendo las posibilidades de que dicha especie exótica se transforme en plaga.

Aumento de individuos de especies ya establecidas: busca aumentar la densidad de la población de enemigos naturales ya presentes en el agroecosistema y favorecer así su eficiencia en el control. Esta estrategia se basa en la idea de que existe un potencial de regulación biótica en el agroecosistema, pero el mismo se encuentra debilitado y debe ser fortalecido. Consiste en la liberación periódica de individuos criados en laboratorio en

momentos específicos en los que la plaga ha aumentado su densidad y los enemigos naturales no logran aumentar su número rápidamente.

Enemigo Natural	Grupos más importantes	Características generales
PREDADORES	Coccinellidae Carabidae Staphylinidae Arañas	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Los adultos e inmaduros son usualmente generalistas y no específicos. ➤ Generalmente son de mayor tamaño que su presa. ➤ Matan a su presa casi instantáneamente. ➤ Matan numerosas presas a lo largo de su vida. ➤ Consumen total o parcialmente a la presa. ➤ Tanto los individuos inmaduros como los adultos pueden ser depredadores. ➤ Atacan presas inmaduras y adultas. ➤ Para su presencia, no requieren de polen y néctar como recurso alimenticio adicional.
PARASITOIDES	Diptera Tachinidae Hymenoptera Parasítica (Microhymenópteros)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Son específicos en cuanto a su hospedero. ➤ Son más pequeños que su hospedero. ➤ Las hembras ponen sus huevos sobre o dentro de varios hospedadores y es la larva del parasitoide la que consume lentamente al hospedador vivo a medida que se desarrolla. ➤ Insectos cuyas formas adultas son de vida libre y se alimentan de polen y néctar. ➤ Las larvas sólo matan a un hospedador para su desarrollo.

Tabla 10. 2: Características generales de predadores y parasitoides. Grupos más importantes

Conservación de especies establecidas: Esta estrategia se basa en brindar las condiciones en el agroecosistema para favorecer la supervivencia, fecundidad y longevidad de los enemigos naturales presentes. Consisten en manipular el ambiente para aumentar los sitios de refugio, hibernación y alimento para los enemigos naturales. Dentro de estas estrategias, todas

aquellas que impliquen un aumento de la diversidad en algunas o todas sus dimensiones pueden ser positivas para favorecer la conservación de enemigos naturales ya presentes. Dentro de estas estrategias se pueden nombrar los policultivos, plantas trampa, borduras, corredores, rotaciones, etc.

A su vez, la liberación de enemigos naturales en los sistemas agrícolas puede ser de manera *inoculativa* o *inundativa*. La primera consiste en liberar pequeñas cantidades de enemigos naturales buscando que las mismas se establezcan en el sistema y comiencen a crecer en número. En este caso, para que funcione este tipo de liberación es necesario que el sistema le ofrezca a los organismos las condiciones necesarias para su supervivencia y desarrollo. En la forma inundativa se busca un control rápido de la plaga por lo que se liberan grandes cantidades del enemigo natural de una vez.

A diferencia de un control por conservación, el control biológico por liberación de enemigos naturales posee un mecanismo de acción similar a un insecticida, es decir el efecto es rápido y en el momento de aplicación y, por lo tanto, los enemigos naturales deben ser incorporados permanentemente para el control de la plaga, tal como ocurre con un insecticida.

Sin embargo, si se piensa el problema de plagas desde una visión holística y sistémica, el control por conservación, permite, además, reducir la dependencia al uso de insumos, reduciendo así, no sólo los costos, sino también el impacto o riesgo ambiental asociado a los mismos (Anexo 10.1). En este tipo de control la acción complementaria y simultánea de varios enemigos naturales que actúan en diferentes estados de desarrollo de la plaga, permite mantener la población fluctuando alrededor de un valor medio de densidad, evitando explosiones repentinas de la plaga. Por ejemplo, para viñedos de la zona de Berisso, se observó que la estructura y densidad de la cobertura vegetal determina las condiciones de temperatura y humedad del suelo y en consecuencia, la abundancia y diversidad de los organismos edáficos de hábito predador que favorecen la regulación de plagas (Paleologos, 2012). De la misma forma, para la zona de Arana (Argentina), en sistemas hortícolas bajo invernáculo, Baloriani *et al.* (2009), encontraron que la presencia de una mayor

diversidad vegetal aumentó el número de coleópteros predadores y arañas, favoreciendo el potencial de regulación biótica del sistema.

Anexo 10.1 Control biológico y sustentabilidad

Si bien las estrategias de control biológico son utilizadas en el mundo desde hace más de un siglo, hace poco tiempo que la discusión sobre esta estrategia de control adquiere real relevancia en el medio científico, técnico y productivo. Sin dudas, esto ha venido de la mano de la creciente puesta en cuestión acerca del uso intensivo de agroquímicos por sus consecuencias sobre la salud de las personas y el ambiente.

Existen diferentes formas de control biológico. Sin embargo, la que predomina hoy se basa en la sustitución de insumos químicos por biológicos. Así, el control biológico se ofrece como una alternativa “limpia” para el reemplazo de los agroquímicos en el control de los organismos plagas en diferentes cultivos. Sin embargo, poco se ha reflexionado sobre las potencialidades y dificultades (ecológicas, económicas y sociales) que pueden derivarse de esta nueva alternativa antes de proponer su adopción en forma masiva.

El control biológico se asume *per se* como una alternativa para incrementar la sustentabilidad de la agricultura dado que, entre otras ventajas, se resalta que los enemigos biológicos no dejan residuos tóxicos ni contaminan el medioambiente y no se produce generación de resistencia por parte de las plagas a sus enemigos naturales. Sin embargo, y sin desmerecer estas ventajas sobre los químicos, el aumento de la sustentabilidad ecológica puede ser cuestionado en tanto y en cuanto el control biológico se encare bajo la lógica de sustitución de insumos, sin plantear un cambio en el enfoque agrícola. De hecho, no sabemos casi nada sobre las consecuencias de la liberación masiva de enemigos naturales sobre el equilibrio de las relaciones bióticas de los ecosistemas en los cuales son liberados lo que implica un riesgo ecológico.

Por otra parte, el uso de controladores biológicos sin un replanteo del diseño de los agroecosistemas actuales, conducirá indefectiblemente a una elevada y permanente dependencia de estos insumos biológicos por parte de los productores y al desarrollo de empresas que produzcan estos insumos en forma masiva. Esto se debe a que en los planteos productivos “modernos” la diversidad es tan escasa (o nula) que impide la supervivencia de los enemigos naturales liberados quienes necesitan sitios de oviposición, refugio y alimento alternativo que brindan otro tipo de vegetación que no es la habitualmente cultivada.

La dependencia permanente de estos insumos implica un costo elevado que restringe el acceso para los productores más empobrecidos, tal como ha sucedido con tantas otras tecnologías desarrolladas bajo el actual paradigma agrícola. Y sin duda favorece, nuevamente, a las empresas proveedoras de agroinsumos e impacta negativamente en el costo de los alimentos que llegan al consumidor, aspectos que atentan contra la sustentabilidad del sector agropecuario si se entiende a la misma en un contexto de sustentabilidad fuerte (ver Capítulo 3).

Sin embargo, el control biológico podría ser concebido con una lógica diferente a la de sustitución de insumos. Avanzar en este sentido requiere un cambio profundo en el diseño de los sistemas agrícolas “modernos” para planificar nuevos sistemas que permitan potenciar los mecanismos naturales de control de plagas. En este sentido, el aumento de la biodiversidad (tanto cultivada como no cultivada, a través de diferentes estrategias) juega un rol central no solo para favorecer la permanencia de los enemigos naturales que se liberan al medio sino para potenciar el desarrollo de enemigos naturales nativos que pueden regular a las potenciales poblaciones plaga.

En este contexto, el control biológico puede ser una herramienta estratégica no solo para disminuir el impacto ambiental de la producción agropecuaria actual sino también para disminuir los costos de producción, la dependencia de insumos externos, incluir en su utilización a todos los productores del sector, producir alimentos sanos y más baratos. Aspectos todos que contribuirían a incrementar la sustentabilidad de la agricultura en su sentido más amplio.

En el control por enemigos naturales, también es importante tener en cuenta no sólo la relación del enemigo natural con la plaga, sino también, la relación entre el enemigo natural y el componente planta. La presencia o selección de determinados caracteres de las plantas, independientemente de su acción sobre la plaga, pueden afectar positiva o negativamente la acción de los enemigos naturales (Greco *et al.*, 1998).

Técnicas culturales: Encarar el problema de plagas desde un enfoque sistémico implica tener en cuenta que las plagas no habitan solamente en las parcelas de cultivo y que sus relaciones no son únicamente con las plantas de cultivo. Existen varias prácticas agrícolas que pueden ser útiles para manejar la llegada, establecimiento y desarrollo de organismos plaga. Todas ellas se basan en un manejo de la diversidad en todas sus dimensiones y a diferentes niveles (parcela, finca), teniendo en cuenta la importancia del paisaje circundante, buscando generar condiciones adversas para la supervivencia de las poblaciones plaga y favorables para las poblaciones de enemigos naturales. Estas estrategias son difíciles de definir exclusivamente como “*Bottom-up*” o “*Top-down*”, ya que, en general, actúan simultáneamente enmascarando el recurso para la plaga y favoreciendo la presencia de enemigos naturales. Entre ellas pueden describirse:

Aumento de la diversidad a nivel de parcela cultivada: un aumento de la biodiversidad (cultivada o espontánea), ya sea específica, varietal, genética o fenológica dentro de la parcela de cultivo puede contribuir a la disminución de los artrópodos plaga, al enmascarar el recurso alimenticio. Los diferentes olores, colores, estratos, hormonas, etc., dificultan la localización del alimento por parte de la plaga y así evitan un aumento en la densidad de la misma. Los policultivos o la presencia de vegetación espontánea en determinados momentos del ciclo constituyen prácticas que han mostrado importantes efectos supresivos sobre las plagas.

Por ejemplo, García & Altieri (1992) estudiaron, con pulgillas (*Phyllotreta cruciferae* Goeze) marcadas y liberadas en monocultivos de brócoli y en

policultivos de brócoli-Vicia, el comportamiento del movimiento y la tendencia a salir o quedarse en el sistema (o incluso a migrar de un sistema a otro) y encontraron que el policultivo brócoli-vicia era menos preferido por las pulgillas que el monocultivo de brócoli.

Aumento de la diversidad a nivel de finca: Las borduras o corredores de vegetación espontánea permiten no sólo enmascarar el recurso para las plagas, sino que además ofrecen sitios de refugio e hibernación para los enemigos naturales. Además, ofrecen fuentes de polen y néctar para los adultos parasitoides y presas alternativas para los predadores. Estas son condiciones necesarias para su presencia y continuidad en el agroecosistema.

Por ejemplo, Thomas & Marshall (1999), Asteraki *et al.* (2004) y Marasas *et al.* (2010) demostraron que diferentes tipos de borduras y coberturas vegetales proveen hábitat para la hibernación de macrofauna edáfica, en su mayoría predadora, y que ésta realiza un permanente intercambio entre el campo cultivado y sus bordes contribuyendo a la regulación de plagas.

Aumento de la diversidad a nivel de paisaje: El éxito del manejo de la biodiversidad a nivel de finca para un manejo ecológico de plagas se encuentra asociado directamente con el grado de biodiversidad presente en el paisaje que rodea la finca. La presencia en el paisaje de corredores, parches de vegetación y zonas poco disturbadas cumple un rol fundamental en asegurar la presencia de fauna benéfica dentro de las fincas que se disponen en dicha área (Swift *et al.*, 2004). Por ejemplo, Thies & Tschardtke (1999) encontraron que la simplicidad estructural de paisajes agrícolas en el norte de Alemania, se correlacionó positivamente con mayores niveles de daños causados por el escarabajo de la colza (*Meligethes aeneus*).

Aumento de la diversidad temporal: Las rotaciones de cultivos o la alternancia de cultivos hospederos con no-hospederos son prácticas efectivas para cortar el ciclo de la plaga. También, ajustar las fecha de siembra y/o cosecha constituyen estrategias que pueden evitar determinados períodos de actividad de los insectos. Las variedades de maduración temprana o período corto son convenientes para este fin.

Otras técnicas: Las prácticas de arada y labranza exponen a los insectos del suelo a condiciones adversas, favoreciendo su desecación, congelamiento y depredación. Por otro lado, el uso de insecticidas en determinados momentos puede ser una alternativa para el control de plagas. Sin embargo, los mismos deben ser selectivos reduciendo su impacto sobre los organismos benéficos.

Se debe tener en cuenta que el aumento de la diversidad de por sí no es una solución al problema de plagas. Es necesario identificar qué aspectos de la diversidad deben ser favorecidos en cada sistema en particular. Para esto es necesario conocer la biología de la plaga y del enemigo natural, es decir, su fenología, qué comen, qué condiciones requieren para su presencia, qué medio y capacidad de dispersión poseen, etc. Estos aspectos nos permitirán tener los criterios necesarios para la elección de estrategias de diseño y manejo que busquen favorecer la presencia de los insectos benéficos y reducir las poblaciones de fitófagos. Por ejemplo, las condiciones del hábitat generadas por la vegetación pueden influir de manera diferente sobre la fauna edáfica y epífita, en función a sus requerimientos (Paleologos *et al.*, 2008). Para la fauna que vive sobre la vegetación (epífita), como los microhymenópteros, una estructura vegetal que asegure la presencia de sitios de refugio, disponibilidad de presas y recursos adicionales, como polen y néctar constituyen aspectos importantes para su presencia (Altieri & Letourneau, 1982). Se ha señalado que ciertas familias vegetales como Fabaceae (Leguminosas), Apiaceae (Umbelíferas) y Asteraceae (Compuestas) favorecen la presencia de enemigos naturales de plagas epífitas, tal como lo observó Polack (2008) en invernáculos de tomate. En cambio, para la fauna de suelo (edáfica), interesan más ciertas características de la vegetación como su estructura y densidad, así como también la composición del mantillo, la disponibilidad de presas y el tipo y calidad de suelo (Paleologos *et al.*, 2008, Paleologos, 2012). Conocer estos aspectos nos permite tenerlos en cuenta cuando se busca favorecer la presencia de fauna benéfica en el agroecosistema.

El aumento de la diversidad es una condición necesaria pero no suficiente para solucionar el problema de plagas. Es necesario diseñar y manejar la diversidad de manera tal que la misma favorezca la presencia de los insectos benéficos y reducir las poblaciones de fitófagos atendiendo a las características biológicas de las plagas y sus enemigos naturales.

Conclusiones

Las prácticas agrícolas intensivas aumentan la vulnerabilidad de los agroecosistemas y conducen a numerosos problemas entre ellos, la aparición de plagas, debido al debilitamiento de los mecanismos “*Bottom-up*” y “*Top-down*”.

El manejo de plagas, en el marco de una agricultura sustentable requiere una reformulación de la forma de abordaje del problema. No se trata sólo de cambiar las estrategias de control de las plagas por otras “más benignas” sino comprender que es imposible su erradicación (tal como se ha planteado hasta el momento) y avanzar en estrategias de manejo que permitan mantener sus poblaciones dentro de niveles de daño no perjudiciales para los cultivos.

Para ello es necesario comprender el funcionamiento del agroecosistema y de las interacciones ecológicas que se dan en el mismo para priorizar estrategias que tiendan a aumentar y conservar los enemigos naturales de presencia espontánea y a modificar la calidad del recurso para que no sea preferido por las plagas.

Preguntas para el repaso y la reflexión

- 1- *¿Por qué algunas especies de artrópodos fitófagos se convierten en plagas en los agroecosistemas?*
- 2- *¿Cómo se aborda la problemática de plagas desde un enfoque convencional y desde uno agroecológico? Señale las principales diferencias.*

- 3- ¿Es correcto usar el mismo umbral de daño económico para una plaga cuando se controla con un insecticida químico que cuando se utiliza la liberación de un enemigo natural (EN)? ¿Por qué?
- 4- ¿En qué factores naturales se basan los mecanismos de control denominados "Bottom- up" y "Top- down"?
- 5- ¿Qué prácticas de manejo se asocian con el crecimiento de plantas "sanas" y cuáles no? Fundamente su respuesta.
- 6- ¿Qué tipo de control biológico (clásico, neoclásico, por conservación) le parece más apropiado en el marco de una agricultura sustentable? Fundamente su respuesta.
- 7- Un ácaro depredador de la plaga "arañuela roja" es muy frecuente en los cultivos de frutilla. Este depredador, que se alimenta también de polen y ninfas de trips, es un muy buen agente de control de la arañuela y por lo tanto su presencia en el sistema tiene mucho valor en las estrategias de manejo de esta plaga. Existen situaciones, sin embargo, en las que la cantidad de depredadores presentes no es suficiente para mantener a las poblaciones de la plaga por debajo del NDE. En este contexto: ¿Qué acciones de manejo podrían llevarse a cabo en el cultivo de frutilla para favorecer la acción de este enemigo natural?
- 8- ¿Qué efectos puede tener la diversidad vegetal circundante al cultivo sobre las plagas? ¿Y sobre los enemigos naturales?
- 9- ¿Qué influencia puede tener la biodiversidad a nivel de paisaje en el éxito del manejo ecológico de plagas a nivel de finca?
- 10- ¿Cuáles son los inconvenientes que usted puede identificar en el uso de plantas transgénicas para el control de plagas?
- 11- ¿Qué estrategias de manejo "top-down" y "bottom-up" le parecen apropiadas para trabajar en un manejo sustentable de plagas? Fundamente su respuesta.

Bibliografía citada

- Altieri MA & DL Letourneau (1982) Vegetation management and biological control in agroecosystems. *Crop Protection*. 1:405-430.
- Altieri MA, LL Schmidt & R Montalba (1998) Assessing the effects of agroecological soil management practices on broccoli insect pest populations. *Biodynamics*, 23-26.
- Baloriani G, MF Paleologos, ME Marasas & SJ Sarandon (2009) Abundancia y riqueza de la macrofauna edáfica (Coleoptera y Araneae) en invernáculos convencionales y en transición agroecológica. Arana, Argentina. *Revista Brasileira de Agroecología* 4 (2). 5pp.
- Brodbeck B, J Stavisky, J Funderburk, P Andersen & S Olson (2001) Flower nitrogen status and populations of *Frankliniella occidentalis* feeding on *Lycopersicon esculentum*. *Entomol. Exp. Appl.* 99 (2): 165–172.
- Chaboussou F (1967) La trophobie ou les rapports nutritifs entre la Plante-hôte et ses parasites. *"Ann. Soc. Ent. Fr."*, 3(3): 797-809.

- Costamagna AC, AM M de Remes Lenicov & M Zanelli (2005) Maize and Oat Antixenosis and Antibiosis Against *Delphacodes kuscheli* (Homoptera: Delphacidae), Vector of "Mal de Rio Cuarto" of Maize in Argentina. *Journal of Economic Entomology* 98 (4):1374-1381.
- DeBach P (1964) *Biological control of insect pests and weeds*, Londres, Chapman y Hall. 844 pp.
- García MA & MA Altieri (1992) Explaining differences in flea beetle *Phyllotreta cruciferae* Goeze densities in simple and mixed broccoli cropping systems as a function of individual behavior. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 62: 201-209.
- Greco NM, SJ Sarandón & PC Pereyra (1998) Parasitism of *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Pyralidae) eggs by *Trichogramma exiguum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae): Influence of *Zea mays* leaf pubescence. *Ecología Austral*, 8 (1): 31-35.
- Greco NM, NE Sánchez & PC Pereyra (2002) Principios de manejo de plagas en una agricultura sustentable. En "AGROECOLOGIA: El camino hacia una agricultura sustentable", SJ Sarandón (Editor), Ediciones Científicas Americanas, La Plata. Capítulo 13: 251-274
- Hernández Medina CA, J Días Sánchez & JR Gómez Souza (2009) Influencia de la fertilización nitrogenada y potásica sobre algunos parámetros biológicos del áfido *Sipha flava* Forbes en caña de azúcar Centro Agrícola, 36(1): 47-51. Disponible en: http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V36-Numero_1/cag081091657.pdf. Último acceso: enero 2014
- Marasas M, SJ Sarandón & A Cicchino (2010) Semi-natural habitats and field margins in a typical agroecosystem of the Argentinean pampas as a reservoir of carabid beetles. *Journal of Sustainable Agriculture*, 34:1-16.
- Nicholls Estrada C (2008) Control biológico de insectos: un enfoque agroecológico. Universidad de Antioquía. Colombia. 294 pp. Disponible en: <http://globalalternatives.org/files/Control%20biologico%20de%20insectos,%20un%20enfoque%20agroecologico.pdf>. Último acceso: septiembre de 2013.
- Olivera J (2001) Manejo Agroecológico del Predio. Guía de Planificación. 1^{era} Edición. Coordinadora Ecuatoriana de Agroecología: 121-130.
- Paleologos MF (2012) Los carábidos como componentes clave de la agrobiodiversidad. Su rol en la sustentabilidad de los agroecosistemas de vid de la costa de Berisso, provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. UNLP. 225 pp.
- Paleologos MF, CC Flores, SJ Sarandon, SA Stupino & MM Bonicatto (2008) Abundancia y diversidad de la entomofauna asociada a ambientes seminaturales en fincas hortícolas de La Plata, Buenos Aires, Argentina. *Revista Brasileira de Agroecología*. 3 (1): 28-40.
- Pérez Consuegra N (2004) Manejo Ecológico de Plagas. CEDAR. Centro de Estudios de Desarrollo Agrario y Rural. Universidad Agraria de La Habana, Cuba. ISBN: 959-246-083-3. 292 pp.
- Polack LA (2008) Interacciones tritróficas involucradas en el control de plagas de cultivos hortícolas. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. 172 pp.
- Restrepo Rivera J (1994) Teoría de la trofobiosis. Plantas enfermas por el uso de agroquímicos. Disponible en: <http://www.motril.es/fileadmin/areas/medioambiente/ae/presentacion/documentos/trofobiosis.pdf>. Último acceso: septiembre de 2013. 31 pp.
- Root RB (1973) Organization of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats: the fauna of collards (*Brassica oleracea*). *Ecological Monographs* 43: 95-124.
- Schuphan W (1974) Nutritional value of crops as influenced by organic and inorganic fertilizer treatments: results of 12 years experiments with vegetables (1960-1972). *Qual. Plant Plant Foods Human Nutr.*, 23: 333-358.

Thies C & T Tscharntke (1999) Landscape structure and biological control in agroecosystems. *Science* 285: 893-895.

Thomas MB & EJP Marshall (1999) Arthropod abundance and diversity in differently vegetable margins of arable fields. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 72: 131-144.

CAPÍTULO 11

PRINCIPIOS DE MANEJO AGROECOLÓGICO DE MALEZAS

Griselda E Sánchez Vallduví y Santiago J Sarandón

Introducción

El manejo racional de las adversidades bióticas en los agroecosistemas, entre ellas las “malezas” (vegetación espontánea) es uno de los principales desafíos que presenta la producción agropecuaria actual. Desde los inicios de la agricultura, la presencia de vegetación espontánea (“malezas”) ha sido considerada un problema y se ha buscado su eliminación. En la actualidad, los agroquímicos (herbicidas) constituyen la estrategia de uso más generalizada para “controlar” o erradicar las malezas y mantener los cultivos “limpios”.

Los herbicidas han sido el principal instrumento para el control de las malezas en la agricultura moderna-intensiva predominante. Sin embargo, comienzan a percibirse cada vez más claramente las consecuencias indeseables de esta alta dependencia en agroquímicos; el impacto ambiental y su costo económico que, muchas veces, ha sido una importante limitante para la mayoría de los agricultores (ver Capítulo 1).

Uno de los principales problemas derivados del control químico es la aparición de numerosas malezas tolerantes y resistentes a herbicidas. Es evidente que los esfuerzos realizados hasta el momento no son suficientes o no están bien orientados. La necesidad de avanzar hacia un modelo de agricultura más sustentable, requiere pensar el problema de “las malezas” con una visión diferente. En este contexto, el manejo de malezas precisa un enfoque holístico y sistémico, que considere a las malezas como componentes de los agroecosistemas y entienda las interacciones con las otras poblaciones cultivadas y/o silvestres, dimensionando la influencia que diferentes prácticas de manejo tienen sobre ellas a corto y a largo plazo.

El conocimiento de la biología y la ecología de las poblaciones, surge como un insumo necesario para prever los cambios que puedan ocurrir en la composición de la vegetación espontánea y su influencia sobre los cultivos.

La Agroecología, como un nuevo paradigma, asume este desafío. Considera que la idea de *eliminar* y *controlar* a las malezas debe ser reemplazada por la de *manejar* y *mantener* la vegetación espontánea dentro de niveles tolerables para lograr una producción económicamente aceptable y mantener sus funciones dentro del agroecosistema, con un horizonte a largo plazo, respetando los objetivos y conocimientos de los agricultores y teniendo en cuenta todos los costos.

Este Capítulo pretende *plantear los principios* necesarios para diseñar estrategias de manejo de las malezas en los agroecosistemas.

La eliminación de las malezas ¿un objetivo deseable?

Tradicionalmente, las malezas fueron vistas como algo negativo, indeseable, fuera de lugar e implicaron generar enormes esfuerzos para intentar eliminarlas de los sistemas de cultivo. Durante milenios se realizó su control en forma manual o mecánica y, a partir de la industrialización del agro, mediante el uso de herbicidas. En pocos años, los sistemas agropecuarios pasaron a depender cada vez más de los químicos y el uso de herbicidas resultó la estrategia casi excluyente, en forma rutinaria, para erradicar las malezas (Fernández, 1982).

Tal es así, que en el mundo en general, y en la Argentina en particular, los herbicidas representan más del 60 % de la facturación por el uso de plaguicidas en la agricultura (Figura 11.1) (CASAFA, 2013).

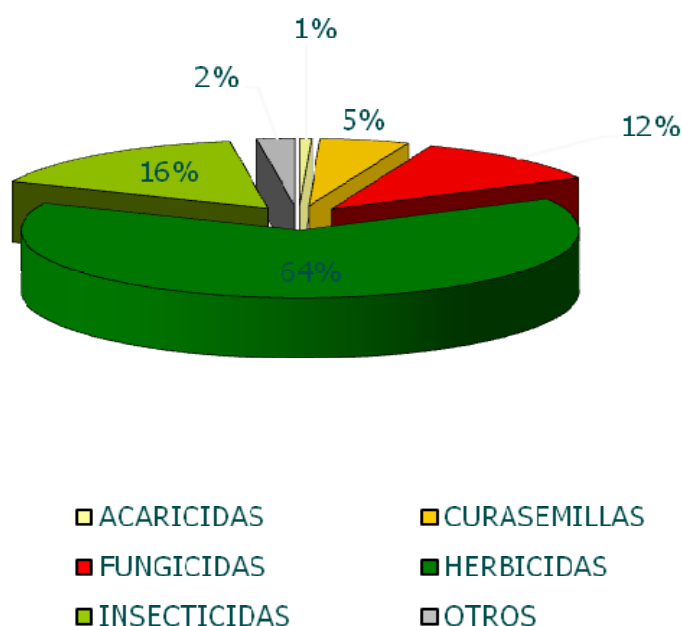


Figura 11.1: Valor de la facturación de plaguicidas en Argentina, 2012 (CASAFE, 2013)

Esta situación se acentuó a partir de la incorporación de los cultivos transgénicos resistentes al glifosato (RR). A pesar del optimismo inicial y del alto consumo de herbicidas registrado a nivel mundial, este objetivo no sólo no se ha logrado, sino que está muy lejos de alcanzarse.

La simplificación de los agroecosistemas y el uso indiscriminado de herbicidas a gran escala, incluso para el control de la vegetación espontánea de los ambientes seminaturales cercanos a los lotes de cultivo, provocó una altísima presión de selección en forma sostenida, lo que llevó a que sobrevivan los individuos más aptos, generando la aparición de numerosas especies de malezas resistentes y/o tolerantes a herbicidas (ver Capítulo 6).

La *resistencia* es la habilidad heredada de una maleza para sobrevivir a la aplicación de una determinada dosis de herbicida a la cual la población original es susceptible (Vitta *et al.*, 2000). El número de malezas resistentes y tolerantes a herbicidas ha crecido exponencialmente en los últimos años (Vitta *et al.*, 2004; Papa, 2009; Peltzer *et al.*, 2009). En nuestro país, este es uno de los principales problemas de la agricultura (ver Tabla 11.1).

Especie	Nombre común	Año de registro	Sitio de acción del herbicida
<i>Amaranthus quitensis</i>	Yuyo colorado	1996	Inhibidores de ALS (B/2)
<i>Sorghum halepense</i>	Sorgo de Alepo	2005	Inhibidores de la EPSP sintasa (G / 9)
<i>Lolium multiflorum</i>	Ray gras	2007	Inhibidores de la EPSP sintasa (G / 9)
<i>Lolium perenne</i>	Ray gras perenne	2008	Inhibidores de la EPSP sintasa (G / 9)
<i>Cynodon hirsutus</i>	Pata de perdiz	2008	Inhibidores de la EPSP sintasa (G / 9)
<i>Raphanus sativus</i>	Nabón	2008	Inhibidores de ALS (B/2)
<i>Echinochloa colona</i>	Pasto colorado	2009	Inhibidores de la EPSP sintasa (G / 9)
<i>Lolium multiflorum</i>	Ray gras	2009	Inhibidores ACCasa (A/1)
<i>Avena fatua</i>	Avena guacha	2010	Inhibidores ACCasa (A/1)
<i>Lolium multiflorum</i>	Ray gras	2010	Resistencia múltiple: Inhibidores de ALS (B/2) Inhibidores de la EPSP sintasa (G / 9)
<i>Lolium multiflorum</i>	Ray gras	2010	Resistencia múltiple: Inhibidores ACCasa (A/1) Inhibidores de la EPSP sintasa (G / 9)
<i>Eleusine indica</i>	Capín	2012	Inhibidores de la EPSP sintasa (G / 9)

Tabla 11.1: Malezas resistentes a herbicidas en Argentina. Modificado de Heap (2013)

Además de biotipos resistentes, se han citado especies tolerantes, que hace referencia a grados de sensibilidad de una maleza a un determinado herbicida (Papa *et al.*, 2002). Las especies citadas por diversos autores son: *Parietaria debilis*, *Verbena litoralis*, *Verbena bonariensis*, *Hybanthus parviflorus*, *Iresine difusa*, *Commelina erecta*, *Ipomoea spp.*, *Oenothera indecora*, *Oenothera rosea*, *Modiolastrum gilliesii*, *Irisine difusa*, *Spaeralcea bonariensis*, *Borreria verticillata*, *Gomphrena perennis*, *Convolvulus arvensis*, *Petunia axillaries*, *Viola debilis*, *Viola arvensis* (Vitta *et al.*, 2000, Rainero, 2008; Papa, 2009).

Ambos problemas están relacionados con el fenómeno de la evolución, proceso natural y permanente en los agroecosistemas (ver Capítulo 6). Las especies más adaptadas a los disturbios, o cambios ambientales, entre ellos la aplicación de herbicidas, son las que sobreviven. Los conocimientos sobre ecología de poblaciones en agroecosistemas y los fenómenos de sucesión y evolución señalan que no es posible eliminar las poblaciones de vegetación espontánea de nuestros agroecosistemas. Y tampoco es deseable.

La vegetación espontánea (malezas): un componente del agroecosistema

Los agroecosistemas se caracterizan por ser sistemas simplificados, ubicados y mantenidos en etapas tempranas de la sucesión, con el fin de optimizar la productividad (producción neta de la comunidad). A partir de allí, se inicia un proceso de sucesión secundaria que intenta recuperar las características específicas, estructurales y funcionales de los ecosistemas maduros. La aparición de “malezas” (vegetación espontánea) es una consecuencia predecible de este proceso y de la creación de ambientes que propician su desarrollo. Luego de una perturbación, el sitio es “invadido” por especies vegetales muchas veces estrategias “r” las que son consideradas malezas (ver Capítulo 6). La nueva composición de la comunidad vegetal va a depender de la diversidad, estructura y de los procesos demográficos de las especies que ya estaban dentro del sistema y diferirá en función del disturbio que le dio origen. Estas especies vegetales son las que generalmente se consideran malezas.

Son muchas las definiciones que se han hecho de la palabra “maleza” y no hay una de carácter universal, entre ellas: *...plantas que llegan a ser perjudiciales o indeseables en determinado lugar y cierto tiempo...* (Marzocca, 1993), *...planta que crece en situaciones modificadas por el hombre sin ser deliberadamente cultivada por él...* (Baker, 1974), *...aquella planta que originada en un ambiente natural y en respuesta a condiciones impuestas o naturales, evoluciona y continúa asociada interfiriendo con nuestras plantas deseadas...* (Aldrich, 1984) o *...plantas vasculares que son impedimentos a las actividades humanas o a la salud...* (Cousens & Mortimer, 1995). Todas estas definiciones están basadas en una visión antropocéntrica, que antepone el interés del ser humano en lograr una determinada producción y, por lo tanto, consideran perjudicial toda aquella especie vegetal que interfiera con la posibilidad de obtener un determinado bien o servicio.

Sin embargo, las malezas son integrantes naturales de los agroecosistemas. Debemos entonces, entender y valorar sus funciones, y las interacciones con otros componentes del sistema, las que, generalmente, no se

tienen en cuenta al momento de optar por un posible control. Como componentes de la biodiversidad del agroecosistema, la vegetación espontánea cumple muchas funciones ecológicas (ver Capítulo 5). Entre los servicios ecológicos que brinda la vegetación espontánea se pueden señalar: prevención de la erosión del suelo, fijación de carbono, control del microclima local, regulación de procesos hidrológicos y de abundancia de organismos indeseables, hospedantes de fauna benéfica, atracción y repelencia de insectos fuera del cultivo, captura y acumulación de nutrientes disminuyendo la posibilidad de lixiviación de los mismos y mantenimiento de la diversidad genética *in situ* (Altieri, 1992; Aldrich & Kremer, 1997).

El abordaje de los sistemas agropecuarios con un enfoque sistémico (ver Capítulo 4), para el manejo de la vegetación espontánea (malezas) requiere considerar las ventajas e inconvenientes de las diferentes estrategias, teniendo en cuenta los efectos en el largo plazo, los servicios ecológicos afectados, los objetivos y conocimientos de los agricultores y los *costos ocultos* que resulten de estas prácticas.

Entendiendo la competencia cultivo-maleza

En los agroecosistemas, las relaciones entre los componentes bióticos y los abióticos, pueden ser afectadas por muchas causas, dando como resultado interacciones positivas, negativas o neutrales. Una de las interacciones de mayor interés para agrónomos y agricultores, es la competencia (ver Capítulo 9), definida como el efecto en individuos que utilizan un recurso (luz, agua, nutrientes, O₂ o CO₂) que es escaso (Radosevich *et al.*, 1997). La intensidad de esta competencia no es constante y será consecuencia de los factores que la definen. El resultado de la misma dependerá de las características de la comunidad de malezas, del cultivo y el ambiente en el cual ocurre (Figura 11.2).

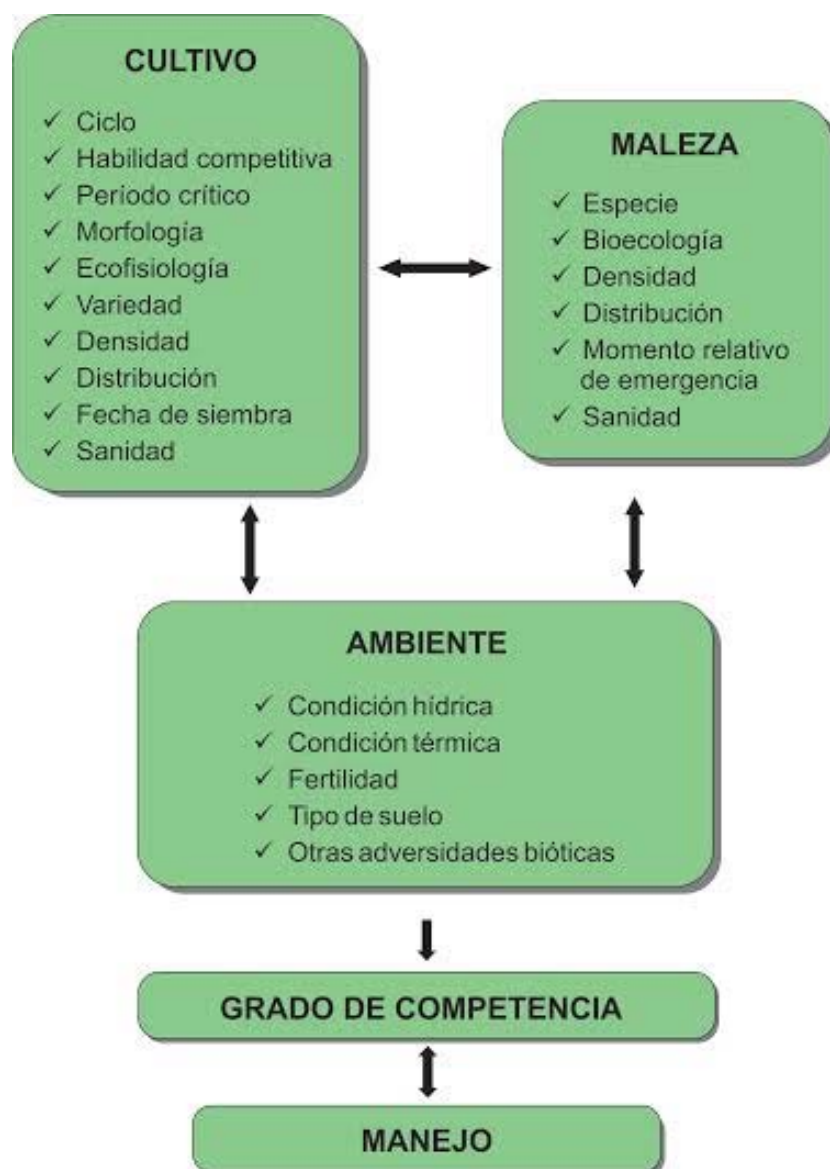


Figura 11.2: Factores que intervienen en la interacción cultivo-maleza (Modificado de Altieri 1999)

El momento del ciclo de cultivo donde la maleza está presente es muy importante para determinar la intensidad de la competencia. El impacto depende de las condiciones ambientales, la disponibilidad de recursos; varía con el cultivo, con la comunidad de malezas presente, y se expresa fundamentalmente en el “período crítico de competencia entre el cultivo y las malezas”. Dicho período se define como el intervalo de tiempo durante el cual la presencia de malezas implica una pérdida de rendimiento significativa. Conocer cuál es este intervalo dentro del ciclo de los cultivos, señala los

mejores momentos para actuar sobre la comunidad vegetal procurando disminuir la interferencia con el cultivo.

Desde un punto de vista práctico, se distinguen dos períodos para realizar el control de las malezas con la esperanza que no ocurra una disminución significativa del rendimiento ocasionada por competencia. El primero, es el período desde la siembra, durante el cual el cultivo puede convivir con las malezas sin afectar significativamente el rendimiento. Este período también se define como período de control tardío (PCTA). El otro lapso a considerar es el mínimo período durante el cual debería permanecer sin malezas, tal que su emergencia posterior no ocasione una disminución significativa del rendimiento. Este período se define como período de control temprano (PCTE) (Guglielmini *et al.*, 2003).

Estos períodos son distintos para los diferentes cultivos, y, si bien pueden variar de acuerdo a las características de la comunidad de malezas y del ambiente en el cual estén creciendo, sirven como base para tomar decisiones de manejo con el objetivo de disminuir la interferencia del cultivo con las malezas y su efecto sobre el rendimiento.

El *período crítico* puede variar entre genotipos. Aquellos de mayor altura, o de crecimiento rápido (que cubren rápidamente el suelo), generalmente son más competitivos que los de menor altura o de crecimiento más lento. Las diferencias pueden observarse entre genotipos de la misma especie o entre especies. Esto último se registró en cultivos de invierno, donde la cebada (*Hordeum vulgare*) presentó mayor capacidad competitiva que la colza (*Brassica campestris*), el trigo (*Triticum aestivum* L.) y el lino (*Linum usitatissimum*) en competencia con avena guacha (*Avena fatua*) (O'Donovan & Sharma, 1983).

La tolerancia de diferentes cultivos a la presencia de malezas varía con las características de la comunidad de estas últimas. No todas las malezas tienen la misma agresividad, aun con el mismo cultivo. Entender estas diferencias es fundamental para evitar el control innecesario de aquellas malezas poco agresivas. Por ejemplo, en cereales de invierno, 5 plantas/m² de *Avena fatua* producen una pérdida del rendimiento equivalente a 20 plantas/m²

de *Lolium rígido* (Stigliani & Resina, 1993). Lutman (1997) registró que 20 plantas de *Avena sativa* causaron una disminución del rendimiento de lino (*Linum usitatissimum*) cercano al 40 % mientras que, con la misma densidad de *Stellaria media*, la merma del rendimiento fue de aproximadamente el 1 %. En el cultivo de soja, se encontró que 1 planta/m² de yuyo colorado (*Amaranthus quitensis*) causó una pérdida de 500 kg/ha, mientras que 1 planta/m² de malva (*Anoda cristata*) provocó una disminución de 350 kg/ha y la misma densidad de chamico (*Datura ferox*) una merma 950 Kg/ha, respecto al testigo sin malezas (Leguizamón *et al.*, 1994).

Otro factor a tener en cuenta, es el momento relativo de emergencia de la maleza en relación al cultivo: la emergencia antes que el cultivo, le otorga una ventaja competitiva importante.

El efecto competitivo de las malezas varía con el tipo y propiedades del suelo que determinan, entre otras cosas, la disponibilidad de recursos. En suelos con alta fertilidad, generalmente hay poca competencia (hay recursos abundantes), mientras que en suelos de baja fertilidad la presencia de malezas puede tener un mayor impacto sobre el rendimiento de los cultivos (Altieri, 1999).

A pesar de la importancia de la competencia, ésta es solo una de las relaciones o roles que tiene la vegetación espontánea. Marshal *et al.*, (2003) analizaron no sólo la diferente capacidad competitiva de varias especies en el Reino Unido, sino su rol ecológico como hospedadoras de biodiversidad de artrópodos. Estos autores citan especies de malezas muy poco competitivas, que a su vez sirven de hospedadoras a muchas familias y especies de artrópodos, de las cuales sólo unas pocas o ninguna eran perjudiciales (fitófagas), lo que relativiza la necesidad de controlarlas.

Manejo agroecológico de malezas

No obstante los numerosos esfuerzos orientados a eliminar las especies vegetales “no deseadas” esto no se ha conseguido y la presencia de malezas sigue siendo uno de los principales problemas de la producción agrícola. Es evidente que se ha tomado el camino equivocado.

El uso de herbicidas como principal (y muchas veces única) metodología de control, no parece muy adecuada como estrategia para diseñar y manejar sistemas agrarios sustentables. El paradigma que sustenta la idea de erradicar a las malezas debe ser replanteado y hay que buscar una solución más integral a este problema. En este sentido, se ha propuesto un manejo sustentable de malezas para *“lograr sistemas donde el control de malezas se realice solo cuando sea estrictamente necesario, considerando a largo plazo, todos los efectos ambientales y económicos y la repercusión o impacto sobre otros componentes del sistema”* (Acciaresi & Sarandón, 2002). Fernández-Quintanilla *et al.*, (2008) señalan también la necesidad de una perspectiva ecológica que contemple los efectos en el largo plazo de las estrategias puestas en práctica. A la luz de estas ideas, se ha generado una importante revisión de los efectos a mediano y largo plazo que pueden tener las prácticas de manejo.

Se deben mantener niveles de infestación compatibles con una producción económica y ambientalmente sustentable. Para ello hay que conocer las relaciones biológicas, ecológicas y económicas que rigen el funcionamiento de los sistemas, para manipular la relación cultivo-maleza y favorecer al cultivo. Es necesario identificar los procesos ecológicos y los factores que gobiernan la dinámica de las poblaciones y sus interacciones (Altieri & Liebman, 1988).

Desde una perspectiva agroecológica, las estrategias deben ser adaptadas localmente de acuerdo a las características ambientales de los agroecosistemas y a los aspectos socioculturales de los agricultores. Se puede definir el **manejo agroecológico de malezas**: como *aquel que aplica un conjunto de criterios que integran estrategias adecuadas para diseñar y manejar agroecosistemas con el objetivo de disminuir las interacciones negativas de las poblaciones de vegetación espontánea, conservando u optimizando sus roles positivos en el agroecosistema, considerando el largo plazo, respetando las particularidades socioculturales de los agricultores y teniendo en cuenta todos los costos*. Aunque no existen recetas generales, un manejo agroecológico de malezas (MAM) tiene en cuenta algunos criterios o principios (Tabla 11.2).

Principios conceptuales: Para un manejo agroecológico de malezas se deberá:

- 1- Abordar a las malezas (vegetación espontánea) como un componente más de los agroecosistemas y entender sus roles, las interacciones con los demás componentes y su dinámica poblacional.
- 2- Basarse en una concepción holística y sistémica. Pensar en el largo plazo.
- 3- Conocer los procesos ecológicos y fisiológicos que determinan la presencia y persistencia de las malezas y la manera en que estos son alterados por las decisiones de manejo.
- 4- Comprender que la competencia se produce cuando los recursos son escasos y que las diferentes prácticas de manejo pueden alterar la disponibilidad de estos recursos haciendo variar la competencia: la sola presencia de vegetación espontánea, no indica necesariamente que exista competencia.
- 5- Entender que la competencia es un fenómeno de interferencia mutuo: hay un efecto de la maleza sobre el cultivo y otro del cultivo sobre la maleza.
- 6- Entender que la competencia depende de las características de las especies que interactúan y el ambiente en el cual se encuentran.
- 7- Procurar información que oriente acerca de la capacidad competitiva de la comunidad de malezas dominante.
- 8- Considerar que los cultivos tienen un período de su ciclo durante el cual toleran la presencia de malezas.

Principios procedimentales: las estrategias de manejo deberán procurar:

- 9- Modificar el balance entre cultivo-maleza de modo tal de maximizar el crecimiento del sistema cultivado y disminuir el de la maleza.
- 10- Maximizar la eficiencia en el uso de los recursos por el sistema cultivado. Favorecer un uso anticipado de los recursos. Disminuir la superposición de nichos.
- 11- Modificar la composición específica de las comunidades de malezas con el objetivo de que en las mismas dominen especies de fácil manejo o baja capacidad competitiva.
- 12- Utilizar simultáneamente diversas prácticas que disminuyan la presión de selección y reduzcan la reproducción de la maleza y aumenten la habilidad competitiva del sistema cultivado.
- 13- Reducir el banco de propágulos en el tiempo.

Tabla 11.2 Bases conceptuales y estrategias para un manejo agroecológico de malezas

Un manejo a largo plazo, mantiene la idea de “convivir” con las malezas y considera primordial una reacción de “prevención” y “anticipación” más que accionar luego que el problema esté presente. Busca manejar la infestación de la maleza y mantenerla en niveles reducidos compatibles con una producción

aceptable, para lo cual las estrategias de manejo de malezas deben estar basadas en principios ecológicos (Liebman, 2000). En situaciones donde los recursos son escasos, aquellas prácticas que favorezcan la utilización de los mismos por parte del sistema cultivado pueden constituir estrategias enmarcadas en un manejo sustentable de malezas.

Entendiendo al problema de las malezas desde un *enfoque de sistemas*, las prácticas agrícolas pueden ser dirigidas a disminuir la interferencia de las malezas sobre los cultivos, controlar la colonización o la adecuación de las especies.

El manejo de la dinámica de las malezas exige incorporar la idea de *banco de semillas*, o, mejor dicho, de propágulos (semillas y estructuras reproductivas vegetativas) como una herramienta fundamental para un manejo agroecológico de las malezas. La vegetación espontánea que “aparece” en nuestros agroecosistemas luego de un disturbio, proviene de la reserva de propágulos (banco) que están en el suelo “esperando” las condiciones adecuadas para su germinación o brotación. La posibilidad de manejo a largo plazo requiere entender la dinámica de este banco, cómo se recarga y cómo se vacía, y de qué manera lo afectan las diferentes estrategias de manejo.

La comprensión del rol de las malezas en el agroecosistema, sus interacciones con los demás integrantes y el estudio de la dinámica de las poblaciones presentes, son elementos indispensables para el desarrollo del método de manejo que tienda a optimizar las interacciones positivas y minimizar las negativas.

El manejo de malezas debe hacer uso de acciones a *corto y largo plazo*. Las primeras buscan minimizar la interferencia negativa de la vegetación espontánea en el presente ciclo. El manejo a *largo plazo* tiene como premisa conocer los procesos ecológicos involucrados y minimizar los efectos de la competencia.

El manejo incorpora la idea de integración de medidas “preventivas”, conocimiento teórico-científico, saberes de los productores y habilidades humanas (capacidad de manejo). En la Figura 11.3 están representados algunos de los componentes del sistema cultivo-malezas tales como el banco de propágulos, las malezas y los cultivos y las relaciones entre ellos.

Se busca disminuir el banco de propágulos y/o cambiar su composición específica hacia especies menos problemáticas, disminuir las poblaciones de malezas emergidas, su contribución (recarga) hacia el banco, la intensidad de la competencia con el cultivo, y atenuar la exportación de semillas de malezas hacia otros agroecosistemas. Todo esto ha sido graficado y se han marcado con números los puntos de control donde podemos intervenir.

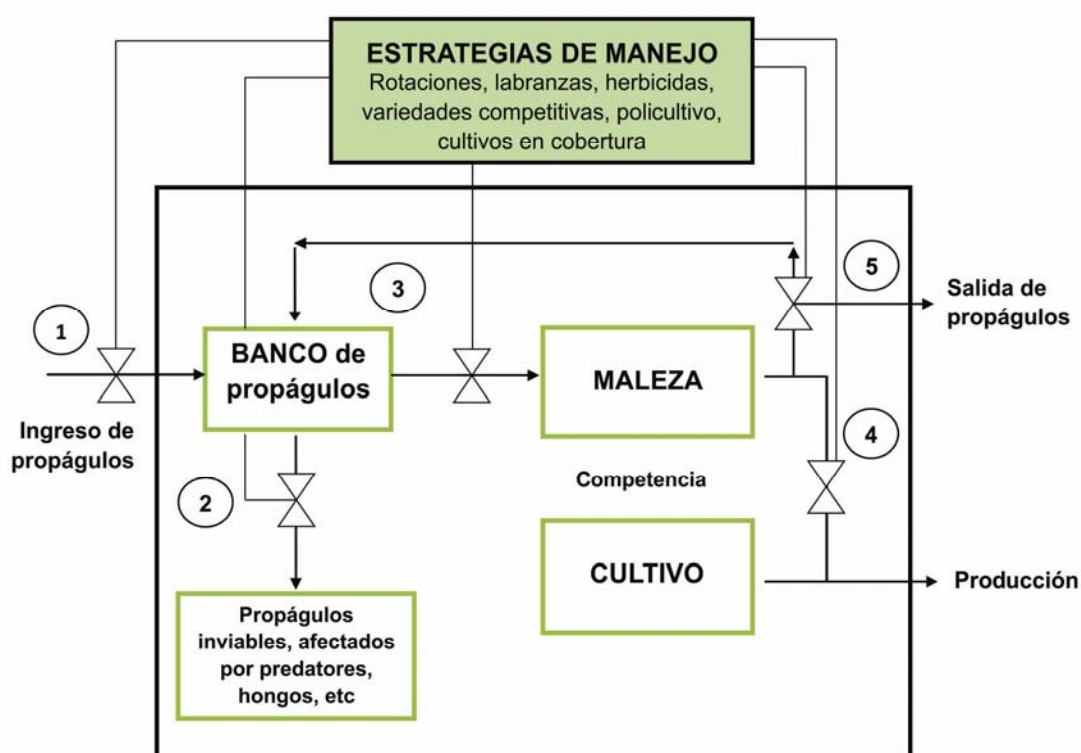


Figura 11.3: Algunos componentes y sus relaciones en un sistema cultivo-maleza. Efecto de las prácticas de manejo sobre la dinámica de malezas en relación al banco de propágulos. Referencias: Estrategias (1): ingreso, (2): pérdida de viabilidad o muerte, (3): evitar emergencia o interrupción del crecimiento, (4): modificación del uso de recursos, competencia, (5) evitar la incorporación de propágulos desde el mismo sistema, o su salida a otros sistemas

El banco de propágulos se recarga desde afuera del sistema (1) o con propágulos provenientes de nuestro sistema de malezas desarrolladas (5), en cantidad variable en función de la competencia entre el cultivo y la maleza (4). Los egresos del banco de propágulos son hacia el compartimiento de propágulos no viables debido al ataque de microorganismos, predación, pérdida de viabilidad (2) o porque germinan y se transforman en plantas (3). A

su vez, de nuestro sistema pueden salir propágulos hacia otros sistemas (5). Las prácticas de manejo pueden afectar la dinámica de malezas y actuar sobre el banco de propágulos.

Las estrategias para un manejo agroecológico de malezas puede agruparse a fines didácticos en dos grandes grupos: aquellas que hacen a la prevención y las que modifican el uso de los recursos y así el grado de competencia.

Estrategias de prevención

Son aquellas que evitan el ingreso de propágulos desde fuera del sistema y las que evitan el crecimiento o disminuyen el banco de propágulos.

a) Métodos culturales

La prevención de la entrada de nuevos propágulos al banco debe disminuir o evitar los posibles ingresos desde fuera del sistema. Estos ingresos pueden ser a través del viento (colocar cortinas rompevientos, bordes de vegetación), de las maquinarias sucias, de la mala calidad (pureza) de las semillas, por el traslado de animales de lotes infestados hacia nuestro agroecosistema, el uso de abono de animales, el agua de riego (sobre todo por canales), el traslado de maquinarias o del hombre (en su ropa). Son las estrategias marcada como (1) en la Figura 11.3.

Las estrategias que evitan el crecimiento o disminuyen el banco de propágulos pueden interrumpir la capacidad de reproducción de los propágulos, evitar la emergencia de los existentes, interrumpir el crecimiento o bien dificultar o evitar la incorporación de estos desde el mismo sistema (reproducción de las malezas presentes en el sitio).

b) Rotaciones

La planificación de las rotaciones favorece la diversificación temporal y espacial constituyendo una estrategia a tener en cuenta para un manejo de malezas en el largo plazo (Ramsdale et al., 2006). Puede reducir la emergencia

de malezas y evitar el establecimiento de poblaciones que se adapten al agroecosistema, actuando, tanto para disminuir el número de individuos, como para reducir la posibilidad de generación de resistencia a herbicidas. También puede aportar residuos que pueden contener sustancias alelopáticas.

Ante la simplificación extrema de los sistemas de producción, las rotaciones han sido dejadas de lado. Es imprescindible revertir esta situación e incorporar la planificación de rotaciones que, aunque no eliminará la interferencia con las malezas, sí limitará el aumento de las poblaciones y las modificaciones en las comunidades de malezas (Liebman & Janke, 1990). La implementación de rotaciones aportaría en los momentos de acción (3) y (5) representados en la Figura 11.3.

c) Labranzas

Las *labranzas* son métodos *físicos* muy antiguos, que se realizan con distintas herramientas y cuyo efecto está directamente relacionado con el implemento usado y la profundidad de la labranza, siendo decisivo en el resultado el momento de la ejecución de la misma. Las labranzas pueden modificar la ubicación de los propágulos dentro del banco edáfico y favorecer su exposición a condiciones adversas para su germinación y viabilidad. Puede significar un obstáculo para el crecimiento del banco al intervenir en la capacidad de los propágulos de generar nuevas plantas. Este modo de acción se ve representado en la estrategia (2) de la Figura 11.3.

Las labranzas pueden ser previas a la siembra o al nacimiento de los cultivos. La labranza convencional tiene como objetivo inicial la preparación de la cama de semilla y de raíces. Uno de los efectos inmediatos es la incorporación de la vegetación espontánea y restos vegetales lo que trae aparejado la reducción de la cobertura del suelo. Este momento de acción se ve representado en la estrategia (3) de la Figura 11.3. Un laboreo del suelo en determinado momento, puede favorecer la germinación de los propágulos del banco que, transformados en plántulas, luego pueden ser controladas mecánicamente, evitando la recarga del banco y contribuyendo a su vaciamiento en el tiempo.

Al eliminar la cubierta vegetal del suelo, se espera que haya menos competencia por el recurso agua, pero también es esperable que aumenten las pérdidas de agua por evaporación y escurrimiento. Las labranzas pueden favorecer la degradación de la estructura del suelo y su protección contra la erosión. También pueden modificar las propiedades químicas y biológicas del suelo, acelerar los procesos bioquímicos y de mineralización y en consecuencia la pérdida de materia orgánica. Por lo tanto, deben ser aplicadas con cuidado.

Con el objetivo de permitir un uso más eficiente del agua y disminuir la erosión de los suelos, se difundieron los sistemas de labranza con menor o ninguna labor del suelo, esto implicó la presencia de residuo en superficie y mayor rugosidad que en los sistemas con labranza convencional. Si bien estos sistemas denominados conservacionistas, disminuyen el riesgo de erosión de los suelos y mejoran la eficiencia en el uso del agua, dificultan o impiden realizar controles mecánicos de las malezas y llevan a una dependencia de herbicidas para su control.

d) *Herbicidas*

El uso de *herbicidas* es la forma más usada en la agricultura actual para actuar rápidamente sobre una población de malezas, por ser una tecnología relativamente simple, “poco costosa” y específica para matar las malezas presentes en el corto plazo. Sin embargo, los numerosos impactos negativos relacionados con esta tecnología, hacen necesario replantear la función de los herbicidas en el manejo de malezas. Aunque el objetivo de un manejo agroecológico es disminuir el uso de insumos químicos todo lo posible, por su costo y peligrosidad, no siempre el diseño del agroecosistema permite hacerlo en el corto plazo y es necesario encarar un período de transición (ver Capítulo 15), durante el cual se puede procurar disminuir su uso.

Para minimizar el uso de herbicidas pueden considerarse diferentes posibilidades. Una de ellas es la aplicación de *herbicidas en bandas*, lo que puede reducir hasta un 50% la dosis del herbicida usado en relación a una aplicación en cobertura total. Actualmente se están comenzando a utilizar *mapas de distribución de malezas* dentro de los lotes, de modo tal de poder

aplicar herbicidas en forma diferenciada según la distribución de la infestación. Es conocido que las malezas no son homogéneas dentro de un mismo lote. La aplicación de herbicida de acuerdo a un criterio de manejo de sitio específico logra disminuir el uso de este insumo. Una limitación importante de esta metodología es que requiere contar con maquinaria apta para efectuar las aplicaciones localizadas y la disponibilidad de mapas de precisión accesibles (Callavino & Gimenez, 2008).

Barros *et al.*, (2005) señalaron la posibilidad de controlar *Lolium rigidum* en el cultivo de trigo con la utilización de dosis reducidas de herbicidas en las etapas tempranas de cultivo. Se destaca esta práctica como alternativa para disminuir el uso de insumos manteniendo un control satisfactorio de malezas y logrando rendimientos potenciales de cultivo.

La necesidad de disminuir el uso de los herbicidas se ha traducido en la utilización de umbrales y modelos como herramientas para tomar decisiones de manejo más adecuadas. Esto constituye un avance respecto a la aplicación preventiva de herbicidas y la realizada sólo ante la mera presencia de malezas (Acciaresi & Sarandón, 2002). Así como existe el concepto de umbral de daño económico para el control de plagas de insectos, también para el control de malezas se debe tener en cuenta este concepto. Acciaresi & Sarandón (2002) propusieron la idea de utilizar un **umbral económico sustentable**: entendido como *el nivel poblacional de malezas, ya sea medido a través de su densidad, su biomasa ó el porcentaje de cobertura, por encima del cual el costo de controlarlas es inferior al de las pérdidas en que se incurre cuando no se controla, teniendo en cuenta, además el rol que las malezas cumplen en el agroecosistema y en el cual la competencia con el cultivo es sólo uno más.*

El uso eficiente de herbicidas requiere identificar el momento en el cual la población de malezas es particularmente susceptible, y su período crítico que contempla la perpetuación más allá del ciclo del cultivo. Un ejemplo muy estudiado es el del sorgo de Alepo. El período crítico para su perpetuación es el de mínima biomasa de rizomas, momento que se puede predecir mediante el concepto de unidades térmicas acumuladas (UTA). El modelo predice que la mínima biomasa de rizomas se alcanza cuando la sumatoria de temperaturas

registradas a partir de la última labor previa a la siembra es de alrededor de 250-300 UTA (Ghersa *et al.*, 1990) (Figura 11.4). Esta metodología puede mejorar el nivel de control y da lugar a un menor uso de herbicidas en el largo plazo.

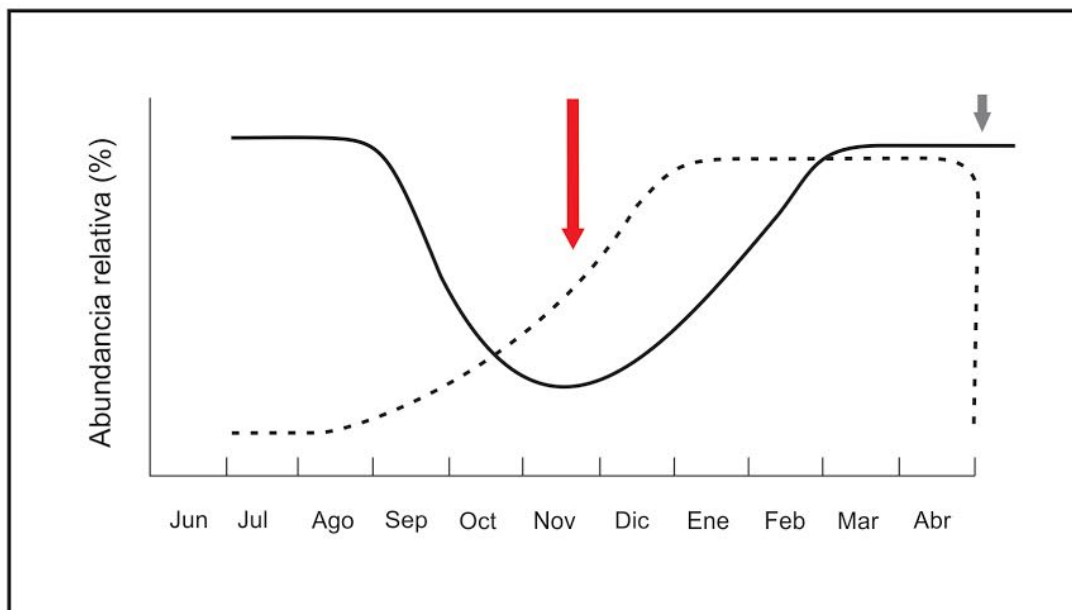


Figura 11.4: Esquema de la abundancia de biomasa de rizomas (—) y estructuras aéreas (- -) de sorgo de Alepo en un año típico. (Adaptado de Ghersa *et al.*, 1990)

Otra estrategia importante es impedir o disminuir la incorporación de propágulos desde el mismo sistema, interrumpiendo la reproducción de las malezas que hayan crecido junto con el cultivo, lo cual se puede realizar mecánicamente o con herbicidas. Este momento de acción se ve representado en el (5) de la Figura 11.3.

e) Otras

También pueden ser consideradas medidas preventivas aquellas que dificultan o impiden la emergencia de las malezas, interrumpen el crecimiento de las malezas si ya estuvieran emergidas o bien dificultan la incorporación de propágulos desde el mismo sistema (reproducción de las malezas presentes en

el sitio). Esto se puede lograr con acciones en el corto plazo que buscan una disminución de la población en un momento dado, lo que se puede realizar a través de métodos físicos o químicos. Estas estrategias pueden usarse para intervenir en distintas instancias y objetivos, lo que se ve representado en la Figura 11.3 en las estrategias de acción (3), (4) y (5).

Estrategias que modifican el uso de recursos

Estas estrategias pretenden modificar el ambiente para favorecer el aprovechamiento de los recursos por parte del sistema cultivado, mejorar su capacidad competitiva y disminuir la de las malezas. Buscan afectar negativamente la capacidad reproductiva de las malezas y disminuir la producción de propágulos que vuelvan al suelo, disminuyendo así el aporte al banco (luego de la cosecha).

El objetivo es diseñar y manejar agroecosistemas para que los sistemas de cultivos puedan anticipar la captura de los recursos, maximizar el crecimiento, la eficiencia en la utilización de los recursos disponibles, minimizar la competencia intraespecífica o favorecer la disponibilidad de recursos en el momento de mayor necesidad del cultivo. Estos objetivos se pueden alcanzar a través de: a) modificaciones en el arreglo espacial y en la densidad de siembra del cultivo, b) uso de variedades de alta habilidad competitiva, c) siembra de cultivos asociados o policultivos, d) uso de cultivos en cobertura y e) manejo de la fertilización.

a) Arreglo espacial y densidad de siembra del cultivo

Las modificaciones en los patrones de distribución espacial y en la densidad de siembra de los cultivos pueden generar un aprovechamiento ventajoso de los recursos para el cultivo y desventajoso para la maleza. Un arreglo de plantas más uniforme (rectangularidad) puede mejorar la distribución de recursos entre los individuos. De esta manera, las plantas pueden responder con modificaciones morfológicas y fisiológicas (arquitectura de planta, índice de área foliar, intercepción de la luz) que finalmente les confieran mayor competitividad. El aumento de la densidad de siembra de los cultivos

también puede favorecer un aprovechamiento anticipado de los recursos (Berkowitz, 1988).

En Argentina, un cultivo de soja sembrado a 35 cm tuvo menos biomasa y producción de semillas de *Anoda cristata* (malva) que uno sembrado a 70 cm, lo que ocurrió al optimizar la competitividad debido al acercamiento de los surcos (Puricelli & Faccini, 2005). En siembras de maíz, en surcos a 38 cm o con densidad mayor a 72.900 plantas/ha, se observó menor biomasa de *Chenopodium album* que a mayor distancia entre surcos o menor densidad, debido a una mayor intercepción de la luz por parte del cultivo, especialmente en etapas tempranas de su desarrollo (Tharp & Kells, 2001).

Por otra parte, en trigo se registró una mayor supresión de malezas al mejorar la uniformidad y la densidad del cultivo, asociado esto a una mejor utilización de nutrientes (Olsen *et al.*, 2004).

b) Uso de variedades de alta habilidad competitiva

La competencia interespecífica ocurre cuando los individuos comparten, al menos parcialmente, el mismo nicho y algún recurso de uso común es escaso o insuficiente para satisfacer ambas necesidades. Ante esta situación se produce una disminución del crecimiento de ambos. El resultado de la competencia varía con la habilidad competitiva de las especies intervinientes, por lo cual, esta característica puede ser aprovechada para buscar genotipos que favorezcan la habilidad del sistema cultivado en relación al de la maleza.

La capacidad para competir puede variar entre genotipos de la misma especie, lo que se relaciona con características morfológicas y fisiológicas tales como arquitectura de planta, velocidad de emergencia, establecimiento del área foliar, índice de área foliar, tasa de crecimiento, liberación de compuestos aleloquímicos (Pester *et al.*, 1999).

Acciaresi *et al.*, (2001a) encontraron diferencias entre genotipos de trigo en su habilidad para competir en etapas tempranas de su desarrollo con *Lolium multiflorum*, asociadas con una mayor altura del cultivo y mejor aprovechamiento de la luz, comportamiento que afectó la capacidad reproductiva de la maleza.

En cebada, se ha mostrado que los cultivares que sombrearon más tempranamente tuvieron ventajas competitivas sobre las malezas afectando negativamente la producción de biomasa de las mismas (Didon & Boström 2003).

Por lo tanto, la selección y el mejoramiento de cultivares que tengan una mayor habilidad competitiva, puede ser una importante herramienta, de bajo costo, que debe ser tomada en cuenta por los fitomejoradores, en estrecho contacto con los agricultores.

c) Cultivos asociados o policultivos

La siembra en policultivos o cultivos asociados puede hacer un uso más eficiente de los recursos que la monocultura (ver Capítulo 13). La habilidad competitiva de los sistemas cultivados puede mejorarse a través de sistemas más diversos (Liebman & Dyck, 1993, Malézieux *et al.*, 2008) en los cuales la superposición de nichos ecológicos de las especies involucradas resulte menor que en la monocultura (Saucke & Ackerman, 2006).

En sistemas más hábiles para capturar recursos, como pueden ser los policultivos respecto a los cultivos puros, se espera queden menos recursos disponibles para las malezas. En consecuencia, el policultivo puede afectar negativamente el crecimiento y desarrollo de las malezas y generar una disminución de su capacidad reproductiva, actuando así como supresor (*smother crops*) (De Haan *et al.*, 1997).

Liebman & Dyck (1993) presentan varios ejemplos de experiencias realizadas, tanto con cultivos de verano como de invierno, sembrados en intercultivo con un acompañante. En general, se observa una disminución de la biomasa de las malezas, aunque la respuesta en el rendimiento varía de acuerdo a los cultivos y el ambiente en el cual se desarrollaron (De Haan *et al.*, 1997).

Las leguminosas se destacan como alternativa para cultivos asociados por fijar N atmosférico a través del proceso simbiótico (Neumann *et al.*, 2009), en especial si el cultivo al que acompañan es poco competitivo (Andersen *et*

al., 2004). Es esperable, entonces, una mayor disponibilidad de dicho recurso y, consecuentemente, una menor competencia entre los cultivos elegidos. En una experiencia realizada en España se encontró que el intercultivo de trébol de Alejandría (*Trifolium alexandrinum*) con arveja (*Pisum sativum* L.) o vicia (*Vicia faba* L.), redujo la infección de *Orobanche crenata*, posiblemente relacionado con la inhibición por sustancias alelopáticas por algún componente (Fernández-Aparicio *et al.*, 2007).

Saucke & Ackerman (2006) registraron una disminución en la cobertura de malezas (principalmente anuales) de alrededor del 50 % en el intercultivo de arveja (*Pisum sativum*) con falso lino (*Camelina sativa*) con una productividad del sistema mayor que en la monocultura.

En otro caso, evaluado en la Argentina, se registró una mayor habilidad competitiva en un sistema en intercultivo de lino (*Linum usitatissimum*)-trébol rojo (*Trifolium pratense* L.), en el cual el rendimiento del lino fue semejante al de la monocultura y redujo la producción de la biomasa y semillas de la maleza (*Brassica* sp.) alrededor de un 60% respecto al que tuvo en la monocultura de lino. Esto significaría un menor aporte al banco de semillas de las malezas en el largo plazo (Sánchez Vallduví & Sarandón, 2011).

En Argentina, Poggio (2005) encontró que el policultivo arveja (*Pisum sativum*)-cebada (*Hordeum vulgare*) fue más supresivo de malezas que la monocultura de cebada. Se observó una complementariedad en el uso del nitrógeno y mayor producción de biomasa y se registraron cambios en la comunidad de malezas. En el policultivo se observaron más especies de emergencia primaveral y menos invernales que en cebada.

Fujiyoshi *et al.*, (2007) encontraron que la siembra consociada de maíz con calabaza mejoraba notablemente el control de varias de las principales malezas respecto al monocultivo de maíz.

d) Cultivos de cobertura

Los cultivos de cobertura son aquellos que se realizan con la idea de mantener el suelo cubierto, disminuir la erosión, evitar la pérdida de nutrientes, y, a su vez, controlar malezas. Buscan disminuir la emergencia de malezas o

bien suprimir su desarrollo y se pueden realizar usando cobertura viva o muerta y, a su vez, que crezca en el mismo ciclo del cultivo o previamente a su siembra. La siembra de distintas leguminosas como cultivo de cobertura previo a un cultivo de trigo, mostró un interesante efecto supresivo contra las malezas (Hiltbrunner *et al.*, 2007).

.En cultivo de coles (*Brassica oleracea* var. *capitata*), los cultivos de cobertura de vicia (*Vicia villosa*), sorgo forrajero y sorgo granífero (*Sorghum bicolor*) resultaron supresores de malezas principalmente en primeras etapas de crecimiento. Cuando el cultivo de cobertura fue la vicia, las coles, además, tuvieron un rendimiento mayor (Husrev *et al.*, 2009).

e) Fertilización

Uno de los factores (recursos) que definen la competencia es la disponibilidad de nutrientes. Toda práctica que la modifique, afectará el equilibrio competitivo cultivo-maleza. Esto puede lograrse a través del manejo de las rotaciones, abonos verdes, abonos orgánicos, manejo pastoril o a través del agregado de fertilizantes. La alteración del equilibrio de la competencia cultivo-maleza a través de fertilización puede favorecer a uno u otro componente. Para favorecer la habilidad competitiva del cultivo es necesario ajustarla a las características de la especie sembrada, la comunidad de malezas presente y el ambiente en el cual interactúan.

En colza, la fertilización con N favoreció la acumulación de este nutriente en el cultivo, lo que modificó la relación cultivo-malezas. Además, los diferentes cultivares mostraron distinta capacidad para suprimir la biomasa de malezas latifoliadas, lo cual puede ser incluido dentro de los planes de manejo de malezas (Bezus *et al.*, 2009).

No siempre el agregado de fertilizante mejora la habilidad competitiva del cultivo. En un estudio en Argentina, el agregado de nitrógeno en el momento de la siembra del trigo no mitigó el efecto de la competencia con *Lolium multiflorum*. Por el contrario, la fertilización nitrogenada favoreció la habilidad competitiva de la maleza especialmente en ambiente seco y a alta densidad de la maleza (Acciaresi *et al.*, 2001b).

La fertilización con N puede aumentar la altura de las plantas cultivadas y favorecer el sombreado de la vegetación espontánea. Este comportamiento difiere entre cultivares de una misma especie. En trigo, el uso de cultivares altos favoreció el control de *Avena sterilis* (González Ponce & Satin, 2001). Otro caso es en cebada, donde la mayor habilidad competitiva se registró en los cultivares más altos y con baja disponibilidad de nutrientes (Didon & Hansson, 2002).

Conclusiones

El manejo agroecológico de malezas debe entender el rol que las mismas tienen en el agroecosistema y balancear la necesidad de su control con los requerimientos de una producción sustentable. La comprensión del rol de las malezas en el agroecosistema, sus interacciones con los demás componentes y el estudio de la dinámica de las poblaciones presentes, son elementos indispensables para el desarrollo de estrategias de manejo que tiendan a optimizar las interacciones positivas y minimizar las negativas.

Los sistemas alternativos de manejo de malezas deben tener en cuenta la complejidad del agroecosistema, donde el rendimiento de los cultivos sea sólo una variable más.

Conocer los atributos de los cultivos asociados a su capacidad competitiva, resulta de utilidad para los mejoradores, quienes pueden incorporar estas características a sus programas. Los programas de manejo de malezas deben formar parte de un plan integral de manejo del agroecosistema. La manipulación del ambiente, cambios en la competitividad de cultivos, o las técnicas de manejo culturales, deben considerar el rol de la vegetación espontánea en otras funciones ecológicas y ser compatible con otros programas de manejo de los sistemas productivos.

Son necesarios cambios de enfoques en la investigación y en la tecnología para desarrollar sistemas productivos con menor uso de insumos, basados en tecnologías de procesos. Esto requiere una visión integral del

agroecosistema, una óptica interdisciplinaria, y un compromiso y dedicación de los investigadores, docentes, extensionistas, agricultores y políticos, a efectos de orientar esfuerzos y recursos hacia una agricultura más sustentable.

Preguntas para el repaso y la reflexión

1. *¿Por qué aparecen las malezas en los agroecosistemas?*
2. *¿A qué se debe la aparición de malezas resistentes y tolerantes a herbicidas? ¿Cómo se puede evitar su aparición?*
3. *¿De qué depende la competencia cultivo-maleza?*
4. *Para realizar un manejo de malezas en base a principios ecológicos se necesita un cambio de enfoque en la modalidad de hacer agricultura ¿Qué significa esta afirmación?*
5. *¿Qué se entiende por realizar un manejo agroecológico de malezas?*
6. *¿Cuáles son los principios a tener en cuenta para un manejo agroecológico de malezas?*
7. *¿Qué es el banco de propágulos y cuál es su importancia para un manejo agroecológico de malezas?*
8. *¿Por qué es importante conocer la dinámica de poblaciones para decidir el método de manejo de malezas?*
9. *¿Qué significa el concepto de manejo a largo plazo? ¿qué debe tenerse en cuenta para realizarlo?*
10. *¿Cuáles son algunas de las dificultades para la puesta en prácticas de un manejo de malezas en base a principios ecológicos?*
11. *¿Cuáles pueden ser medidas preventivas, y cuáles las que modifican el uso de los recursos?*

Bibliografía citada

- Acciaresi HA & SJ Sarandón (2002) Manejo de malezas en una agricultura sustentable. En Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable. Sarandón SJ Ed. Ediciones Científicas Americanas pp. 331-361.
- Acciaresi HA, HO Chidichimo & SJ Sarandón (2001a) Traits related to competitive ability of wheat (*Triticum aestivum*) varieties against Italian Ryegrass (*Lolium multiflorum*). Biological Agriculture and Horticulture 19: 275-286.
- Acciaresi HA, HO Chidichimo & SJ Sarandón (2001b) Wheat-*Lolium multiflorum* competence: effect of nitrogen application onto Argentinean varieties aggressivity. Cereal Research Communications 29 (3-4): 451-458.

- Aldrich RJ (1984) Weed crop ecology, principles in weed management. Breton Publishers. 465 pp.
- Aldrich RY & RJ Kremer (1997) Principles in weed management. Iowa State University Press/Ames. 445 pp.
- Altieri M (1992) El rol ecológico de la biodiversidad. En Agroecosistemas. Agroecología y Desarrollo. CLADES. N° 4. www.clades.org. Último acceso: marzo de 2014.
- Altieri M (1999) Ecología y manejo de malezas. En: Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. pp 361-480. Altieri M Ed. Editorial Nordan-Comunidad. [www. http://agroeco.org/wp-content/uploads/2010/10/Libro-Agroecologia.pdf](http://agroeco.org/wp-content/uploads/2010/10/Libro-Agroecologia.pdf)
- Altieri MA & M Liebman (1988) Weed Management: ecological guidelines. En: Weed Management in agroecosystems: Ecological approaches. Altieri MA & M Liebman, Ed, Boca Raton, Florida. pp. 331-337.
- Andersen MK, H Hauggaard-Nielsen, P Ambus & ES Jensen (2004) Biomass production, symbiotic nitrogen fixation and inorganic N use in dual and tri-component annual intercrops. Plant and Soil 266: 273-278.
- Barros JFC, G Basch & M de Carvalho (2005) Effect of reduced doses of a post-emergence graminicide mixture to control *Lolium rigidum* G. in winter wheat under direct drilling in Mediterranean environment. Crop Protection 24: 880-887.
- Baker G (1974). The evolution of weeds. Annu. Rev. Ecol. System 5:1-24
- Berkowitz AR (1988) Competition for resources in weed-crop mixtures. En Weed management in agroecosystems: ecological approaches. Altieri M & M Liebman Ed. CRC Press, Inc. Boca Raton. Florida. pp: 89-119.
- Bezus R, AM Chamorro, LN Tamagno, VG Petruccelli, C Appella & A Gribaldo (2009) La época de siembra, la elección del cultivar y la fertilización nitrogenada como alternativas de manejo de malezas latifoliadas en colza-canola. Quinta Reunión de Producción Vegetal y Tercera de Producción animal del NOA. San Miguel de Tucumán. Tucumán. Publicado en CD. 8 pp.
- Callavino MD & RA Gimenez (2008) Relevamiento y práctica de manejo de malezas en agricultura de precisión. Agronomía 16 (2): 7-12.
- Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes (CASAFE) (2013) www.casafe.org. Último acceso: febrero de 2014.
- Cousens R & M Mortimer (1995) Weed population dynamics-the framework. En Dynamics of weed populations. pp: 1-20.
- De Haan RL, CC Sheaffer & DK Barnes (1997) Effect of annual medic smother plants on weed control and yield in corn. Agronomy Journal 89: 813-821.
- Didon UME & ML Hansson (2002) Growth in the seedling stage of four barley cultivars at different addition rates nutrients. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae Agraria 332: 1-10.
- Didon UME & U Boström (2003) Growth and development of six barley (*Hordeum vulgare* ssp. *vulgare* L.) cultivars in response to model weed (*Sinapsis alba* L.). Journal Agronomy & Crop Science 189: 409-417.
- Fernandez OA (1982) Manejo integrado de malezas. Planta Daninha 2: 69-79.
- Fernandez-Aparicio M, JC Sillero & D Rubiales (2007) Intercropping with cereals reduces infection by *Orobanches crenata* in legumes. Crop Protection 26: 1166-1172.
- Fernandez-Quintanilla C, M Quadranti, P Kudsk & P Barberi (2008) Which future for weed science? Weed research 48: 297-301.
- Fujiyoshi PT, SR Gliessman & JH Langenheim (2007) Factors in the suppression of weeds by squash interplanted in corn. Weed Biology and Management 7: 105-114.

- Ghersa CM, EH Satorre, ML Van Esso, A Pataro & R Elizagaray (1990) The use of thermal calendar models to improve the efficiency of herbicide applications in *Sorghum halepense* (L.) Pers. *Weed Research* 30: 153-160.
- Gonzalez Ponce R & I Santín (2001) Competitive ability of wheat cultivars with wild oats depending on nitrogen fertilization. *Agronomie* 21: 119-125.
- Guglielmini AC, D Batlla & RL Benech Arnold (2003) Bases para el control y manejo de malezas. En: Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Satorre EH, RL Benech Arnold, GA Slafer & EB de la Fuente Ed. Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires. Pp 580-611.
- Heap I (2013) The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Disponible en www.weedscience.org/summary/Country.aspx. Último acceso: marzo de 2014.
- Hiltbrunner J, M Liedgens, L Bloch, P Stamps & B Streit (2007) Legume cover crops as living mulches for winter wheat: Components of biomass and the control of weeds. *European Journal of Agronomy* 26: 21-29.
- Husrev M, M Ngouajio, E Kaya & D Isik (2009) Weed management in organically grown kale using alternative cover cropping systems. *Weed Technology* 23: 81-88.
- Leguizamón ES, DE Faccini & L Niesensohn (1994) Funciones de daño y cálculo de pérdida por malezas en el cultivo de soja. Informe Técnico 296: INTA-EEA Pergamino 19 pp.
- Liebman M & E Dyck (1993) Crop rotation and intercropping strategies for weed management. *Ecological Applications* 3 (1): 92-122.
- Liebman M & RR Janke (1990) Sustainable weed management practices. Capítulo 4 en Sustainable agriculture in agriculture zones. Ed. John Wiley & Sons, INC. pp: 111-141.
- Liebman M (2000) Oportunities to Integrate Soil, Crop, and Weed Management in Low-External-Input farming systems. Proceedings of a Workshop. Professional Societies and Ecologically Based Pest Management. Board on Agriculture and Natural Resources. National Research Council. National Academy Press. Washington DC. pp: 26-31.
- Lutman PJW (1997) Competitive effects of weeds in linseed. The Brighton crop protection conference-weeds UK. pp 333-838.
- Malézieux E, Y Crozat, C Dupraz, M Laurans, D Makowski, H Ozier-Lafontaine, B Rapidel, S De Tourdonnet & M Valentin-Morison (2008) Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agronomy Sustainable Development*. www.agronomy-journal.org. pp: 1-20.
- Marshall EJP, VK Brown, ND Boatman, PJW Lutman, GR Squire & LK Ward (2003) The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. *Weed Research* 43: 77-89.
- Marzocca A (1993) Manual de malezas. Ed. Hemisferio Sur 4^{ta} Edición, Argentina. 684 pp.
- Neumann A, J Werner & R Rauber (2009) Evaluation of yield-density relationships and optimization of intercrop compositions of field-grown pea-oat intercrops using the replacement series and the response surface design. *Field Crop Research* 114: 286-294.
- O'Donovan JT & MP Sharma (1983) Wild oats, competitions and crop losses. Proc. Wild Oat Symposium, Regina, Canadá. Pp. 27-42.
- Olsen J, L Kristensen, J Weiner & HW Griepentrog (2004) Increased density and special uniformity increase weed suppression by spring wheat. *Weed Research* 45: 316-321.
- Papa JC (2009) Problemas actuales de malezas que pueden afectar al cultivo de soja. INTA EEA Oliveros. Para Mejorar la producción 42: 97-105.
- Papa JCM, EC Puricelli & JC Felizia (2002) Malezas tolerantes a herbicidas en soja. *Idia XXI*. Año 2 (3): 64-67.

- Peltzer SC, A Hashem, VA Osten, ML Gupta, AJ Diggle, GP Riethmuller, A Douglas, JM Moore & EA Koetz (2009) Weed management in wide-row cropping systems: a review of current practices and risks for Australian farming systems. *Crop & Pasture Science* 60: 395-406.
- Pester TA, OC Burnside & JH Orf (1999) Increasing crop competitiveness o weeds though crop breeding. *Crop Protection* 2 (1): 59-76.
- Poggio SL (2005) Structure of weed communities occurring in monoculture and intercropping of field pea and barley. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 109: 48-58.
- Puricelli EC & DE Faccini (2005) Effect of soybean spatial arrangement and Glyphosate dose on *Anoda cristata* demography. *Crop Protection* 24 (3): 241-249.
- Radosevich S, J Holt & C Ghera (1997) Associations of weed and crops. En *Weed Ecology*. Second Ed. Implications for management. Pp. 163-215.
- Rainero HP (2008) Problemas del manejo de malezas en sistemas productivos actuales. *Boletín de Divulgación Técnica* N° 3. INTA Manfredi. 14 pp.
- Ramsdale BK, GO Kegode, CG Messersmith, JD Nalewaja & CA Nord (2006) Long-term effect of spring wheat-soybean cropping systems on weed populations. *Field crop research* 97: 197-208.
- Sánchez Vallduví GE & SJ Sarandón (2011) Effects of changes in flax (*Linum usitatissimum* L.) density and interseeding with red clover (*Trifolium pratense* L.) on the competitive ability of flax against *Brassica* weed. *Journal of Sustainable Agriculture* 35 (8): 914-926
- Saucke H & K Ackerman (2006) Weed supresion in mixed cropped grain peas and false flax (*Camelina sativa*). *Weed Research* 46: 453-461.
- Stigliani R & C Resina (1993) SEMOLA: expert system for management in herbicide intensive crops. *Weed Technology* 7: 550-559.
- Tharp BE & JJ Kells (2001) Effect of glufosinate-resistant corn (*Zea mays*) population and row spacing on light interception, corn yield, and common lambsquarters (*Chenopodium album*) growth. *Weed Technology* 15: 413-418.
- Vitta J, D Tuesca, E Puricelli, L Niesensohn, D Faccini & G Ferrari (2000) Consideraciones acerca del manejo de malezas en cultivares de soja resistentes a glifosato. UNR Editora. 15 pp.
- Vitta J, D Tuesca & E Puricelli (2004) Widespread use of glyphosate tolerant soybean and weed community richness in Argentina. *Agriculture Ecosystems & Environment* 103 (3): 621-624.

CAPÍTULO 12

PRINCIPIOS DE MANEJO ECOLÓGICO DE ENFERMEDADES DE CULTIVOS

Cecilia Mónaco

Introducción

Desde hace algunos años, los fitopatólogos se han percatado, que las enfermedades de las plantas son más frecuentes en los sistemas de cultivos (Agroecosistemas) que en los ecosistemas naturales. Esta observación ha conducido a la conclusión que las enfermedades epidémicas son el resultado de la interferencia humana en el “balance de la naturaleza” (Altieri, 1999). Para combatirlas, bajo el enfoque predominante de la agricultura moderna, el agricultor es altamente dependiente de los plaguicidas químicos sintéticos. Este empleo masivo y generalizado durante décadas, ha provocado problemas de toxicidad para el hombre y los animales, eliminación de fauna benéfica, reducción de la biodiversidad natural, resistencia y resurgencia de organismos nocivos y contaminación de los alimentos y el medio ambiente. Además, el 70% de los agricultores en Argentina y otros países de América Latina, son productores familiares quienes no siempre tienen el dinero suficiente para pagar por los insumos (ver Capítulo 1).

El objetivo de este Capítulo es analizar el manejo de enfermedades de los cultivos bajo este enfoque, analizando sus principales desafíos, oportunidades y limitaciones.

Las enfermedades como componentes de los agroecosistemas

Cabe recordar que las condiciones necesarias para el desarrollo de una enfermedad son, en resumen, las siguientes:

- Una cepa virulenta de un agente patógeno (hongo, bacteria o virus).

- Un huésped susceptible (cultivo) a esta cepa que se distribuye ampliamente en una región.
- Condiciones favorables para que se establezca la interacción planta-patógeno.

De hecho la enfermedad no se generará a no ser que exista un agente patógeno activo, un huésped apropiado y condiciones ambientales adecuadas para la infección, colonización y reproducción de un agente patógeno. En este sentido, la intensificación de la agricultura incluye varias prácticas que favorecen la enfermedad de las plantas, entre las que podemos mencionar:

- Expansión de los predios cultivados (en el tiempo y el espacio).
- Aumento en la densidad de los cultivos hospedantes.
- Disminución de la diversidad de especies.
- Aumento de los patrones de corta rotación y de monocultivo.
- Uso de fertilizantes, riego y otras modificaciones ambientales del cultivo.

En general, las enfermedades se han controlado y se controlan con altas dosis y frecuencias de aplicación de fungicidas sintéticos, eliminando una gran cantidad de especies fúngicas, la mayoría de ellas saprófitas. Esta eliminación provoca un “vacío” y un riesgo de reinvasión por parte de los patógenos ante la pérdida del efecto amortiguador que le opone la flora saprobial. La reducción de la biodiversidad como consecuencia del modelo predominante de agricultura es particularmente evidente en el campo del manejo de enfermedades. Las características de autorregulación inherentes a las comunidades naturales se pierden cuando el hombre las modifica, destruyendo el frágil equilibrio de sus interacciones. Esto puede ser reparado mediante el restablecimiento de los elementos homeostáticos de la comunidad a través de la adición o promoción de niveles adecuados de biodiversidad funcional (ver Capítulo 5).

El propósito del control de la enfermedad es prevenir que el daño de ésta sobrepase aquel nivel donde las utilidades o el rendimiento requerido sean reducidos significativamente.

Manejo vs control de enfermedades

Durante mucho tiempo ha prevalecido el concepto de "Control de Enfermedades", que involucra la aplicación de medidas tendientes a erradicar al organismo causal siendo, por lo tanto, sólo aplicable a un número limitado de situaciones. En los últimos años, este concepto ha sido reemplazado por el de "Manejo de Enfermedades", que implica un proceso continuo de eventos consistentes en la selección y uso de técnicas orientadas a reducir las enfermedades a un nivel tolerable (Apple, 1977).

El manejo de enfermedades trata de regular a los organismos fitopatógenos y no de erradicarlos, y su concepto está estrechamente ligado al de "umbral de daño económico", definido como: el valor de enfermedad en el cual la pérdida ocasionada equivale al costo de aplicación del fungicida.

En el manejo integrado de enfermedades, además de aplicar todas las medidas disponibles, se toma en consideración la "sustentabilidad ecológica". El término manejo da idea de conducción, de gobierno, pensando en disminuir la enfermedad por debajo del nivel económico. Es un proceso continuo que considera a las enfermedades como un componente más de los agroecosistemas y no ofrece, por lo tanto, una mirada escindida de la realidad. De esta manera, se puede visualizar que la sustentabilidad de la actividad agrícola será más fácilmente obtenida a través del Manejo Integrado de Enfermedades que con la pretensión de eliminación de los agentes patógenos. No debemos olvidar que en los agroecosistemas interactuamos con poblaciones de especies silvestres de amplia variabilidad genética y, por lo tanto, alta capacidad de adaptación, que están bajo permanente adecuación a nuestra presión de selección (ver Capítulos 6 y 9).

La planificación de sistemas de manejo integrado de enfermedades requiere tener en cuenta:

- La expansión de las áreas de producción a zonas actualmente no cultivadas.
- La intensificación de la producción en áreas actualmente cultivadas.
- La probable incorporación de cultivos no tradicionales, de acuerdo con la demanda mundial de los mismos.
- El uso de cultivares con amplia variabilidad genética para evitar aquellos que podrían ser susceptibles a determinadas enfermedades.
- La mejora en los conocimientos sobre enfermedades por parte de los productores agrícolas, con un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles destinados a minimizar las mismas.

En este sentido, se pueden aplicar estrategias epidemiológicas para disminuir al mínimo las pérdidas causadas por enfermedades:

- Eliminar o reducir el inóculo inicial (X_0) o retardar su aparición.
- Disminuir la tasa de desarrollo de la enfermedad (r) durante el período de crecimiento.
- Acortar el tiempo de exposición de un cultivo al agente patógeno, utilizando variedades de corta duración o fertilización y prácticas de riego que eviten que el crecimiento de un cultivo sea lento.
- Diversificar con la incorporación de numerosas especies en vez de una sola, para disminuir la incidencia de la enfermedad y de esta manera bajar el riesgo.

Técnicas para el manejo integrado de enfermedades

Estas técnicas o estrategias tienen por objeto disminuir la incidencia de las enfermedades en los agroecosistemas minimizando o eliminando los daños en el ambiente. Las técnicas más utilizadas para el manejo integrado de las enfermedades son, entre otras, el manejo cultural, el control biológico, el uso

de cultivos de cobertura, la solarización y el uso de agroquímicos en algunos casos puntuales.

Manejo cultural

Los principios que fundamentan el control cultural son tres: a) supresión del aumento y/o destrucción del inóculo existente; b) escape de los cultivos al ataque potencial del patógeno; c) regulación del crecimiento de la planta direccionado a una menor susceptibilidad.

Las estrategias generales que se pueden utilizar para disminuir la incidencia (número de plantas con síntomas / número total de plantas) de una enfermedad comprenden: evitar, excluir o erradicar los agentes patógenos, proteger al huésped, desarrollar la resistencia en los huéspedes y hacer un tratamiento previo a las plantas ya infestadas (“sanitation”). Los métodos de control biológico y cultural que se utilizan hasta o durante el período de siembra de los cultivos son esenciales para reducir al mínimo la enfermedad. Los controles que se aplican antes de la siembra incluyen: rotación de cultivos, calentamiento del suelo mediante exposición al sol (solarización) o a la quema, inundación temporal, labranza y enmiendas del suelo con grandes cantidades de materia orgánica. La labranza destruye los residuos y acelera la descomposición y la colonización de microorganismos benéficos.

La erradicación de los huéspedes alternos silvestres y susceptibles a las enfermedades de los cultivos es, a veces, un método útil.

Uso de cultivares con resistencia genética

El aumento de la diversidad genética ofrece un gran potencial para el control genético de los agentes patógenos. Ésta se puede lograr en las parcelas, sembrando cultivares con diferentes genes para la resistencia, o en diferentes áreas, sembrando multilíneas o una combinación de tres o más

(hasta diez) cultivares, cada uno con genes diferentes para la resistencia; o utilizando cultivares que tengan diversos genes para la resistencia dentro de su propia disposición genética. Muchas líneas o variedades locales tienen esta característica.

Los cultivares resistentes siempre han sido un componente esencial del manejo integrado de las enfermedades. La incorporación de genes de resistencia ha sido muy exitosa para algunas enfermedades ocasionada por agentes **biotróficos** (aquellos parásitos que extraen sus nutrientes única y exclusivamente de tejidos vivos) pero no para las ocasionadas por agentes **necrotróficos** (parásitos que utilizan los tejidos muertos como fuente de nutrientes) como las manchas foliares. El uso de cultivares resistentes es un método preferencial de control de enfermedades ocasionadas por parásitos biotróficos debido a que estos patógenos son difícilmente controlados por otros mecanismos. En muchas situaciones la poca durabilidad de la resistencia específica (resistencia Vertical, pocos genes) a royas u oidios, por ejemplo, han llevado a los fitomejoradores a buscar otro tipo de resistencia en la cual se seleccionan cultivares que presentan un desarrollo más lento a esas enfermedades pero de mayor durabilidad, (resistencia horizontal, muchos genes). Hoy se intenta buscar **resistencia durable** como aquella que se desarrolla en planta adulta. Un ejemplo de esto es la incorporación de 6 genes de resistencia al cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) al tizón tardío (ocasionado por *Phytophthora infestans*) provenientes de germoplasma de papa salvaje obteniendo cultivares comerciales con una resistencia durable a varias razas del patógeno (Ballvora *et al.*, 2002).

Durante mucho tiempo se consideró a las industrias basadas en la ingeniería genética como una promesa, basada en la idea que los cultivos transgénicos alejarían a la agricultura de la dependencia de los insumos químicos, incrementarían su productividad y disminuirían los costos de los insumos, ayudando a reducir los problemas ambientales. Ahora sabemos que estos cultivos transgénicos están diseñados para una agricultura a gran escala, que las semillas están patentadas y dependen de la compra a empresas transnacionales, que pueden producir contaminación genética ya que el polen

de las plantas puede contaminar a los cultivos nativos. Además, el uso de transgénicos obliga a usar paquetes tecnológicos de las empresas y el agricultor pierde control sobre el proceso productivo. En este sentido, la visión reduccionista de la naturaleza y la agricultura puestas en marcha por la biotecnología contemporánea, deben ser revertidas hacia un enfoque más sistémico y holístico de la agricultura, para asegurar que las alternativas agroecológicas no sean ignoradas.

Rotación y sucesión de cultivos

La elección del método y período de siembra es una manera de escapar de los agentes patógenos. Sembrar, ya sea temprana o tardíamente, puede permitir al huésped pasar a través de una etapa vulnerable antes o después de que el agente patógeno produzca inóculo. Si los cultivos similares que comparten los mismos agentes patógenos, no siguen uno después del otro, hay una buena probabilidad de que cualquier inóculo dejado en el suelo haya muerto de "hambre" debido a la ausencia de su huésped, o que haya sufrido una parálisis o lisis por otro microorganismo. De aquí la importancia de evitar el monocultivo y aumentar la diversidad temporal. Un ejemplo ocurre con el agente causal del pietín (*Gaumannomyces graminis*) en trigo y cebada, que sobrevive en el suelo asociado a los restos culturales en los tejidos de la raíz de plantas susceptibles. Si el trigo o la cebada dejaran de ser cultivados en el mismo lote, este patógeno sería incapaz de parasitar soja, avena, arveja, por lo que esta enfermedad solo sería importante bajo monocultivo de plantas susceptibles.

El potencial del control cultural o por prácticas culturales, está directamente relacionado con la oportunidad de manejo de las condiciones de crecimiento de las plantas.

La rotación de cultivos constituye una alternancia regular de diferentes cultivos en una misma área. Esa combinación debe ser efectuada de acuerdo con un planeamiento adecuado, en el cual deben ser considerados diversos

factores, entre ellos el cultivo predominante de la región en torno del cual será programada la rotación, además de los factores del ambiente que influirán en los cultivos seleccionados para que integren el sistema.

La práctica de controlar enfermedades por la rotación de cultivos es la menos agresiva al ambiente, siendo por eso la que más puede contribuir a la sustentabilidad ecológica de la agricultura.

Según Derpsch (1985), la rotación de cultivos puede ser definida como una alternancia ordenada de diferentes cultivos en un espacio de tiempo, en un mismo campo, obedeciendo a finalidades definidas, donde una especie vegetal no es repetida en el mismo lugar con un intervalo menor de dos y, si fuera posible, tres o más años.

Desde el punto de vista fitopatológico, la rotación de cultivos consiste en la siembra de una misma especie vegetal en un mismo lote, en una misma estación de cultivo, donde los restos culturales del cultivo anterior fueron eliminados biológicamente. En esta situación, el rastrojo es eliminado por la acción de descomposición de los microorganismos del suelo; el inóculo es biológicamente degradado de tal manera que es eliminado o mantenido por debajo del umbral de infección. Contrariamente, monocultivo consiste en el cultivo de la misma especie vegetal, en el mismo lote, donde están sus propios restos culturales (Reis *et al.*, 2002).

El principio del control de enfermedades involucrado en la rotación de cultivos es la supresión o eliminación del sustrato apropiado para el patógeno. La rotación de cultivos tiende a actuar sobre la fase de supervivencia del patógeno. En esta fase, los patógenos son sometidos a una intensa competencia microbiana, durante la cual, generalmente llevan desventaja. Asimismo, sufren el riesgo de no encontrar al hospedante, lo que determina generalmente su muerte por desnutrición. Esto ocurre en el período comprendido entre dos cultivos de una planta anual.

Relación entre supresión de cultivos y supresión del suelo

Un **suelo supresivo** a los patógenos fue definido por Cook & Baker (1983) como aquel en el cual el patógeno no puede establecerse; o el patógeno se establece pero no posee potencial para causar enfermedad; o se establece y causa inicialmente enfermedad y finalmente la misma disminuye la intensidad bajo monocultivo del hospedante, en un período largo. Por lo tanto, en un suelo supresivo los microorganismos presentan potencial de suprimir el crecimiento, la multiplicación o el parasitismo de hongos infectantes de raíces. Este es un fenómeno natural, pero puede ser estimulado por la incorporación de compuestos orgánicos en el suelo o por la rotación de cultivos. Un ejemplo de esto, es *Rizoctonia solani*, el agente causal de podredumbres y marchitamientos. Este hongo sobrevive en el suelo saprofiticamente presentando una amplia gama de hospedantes, como plantas nativas, invasoras y cultivadas. Es un hongo habitante del suelo con una alta habilidad saprofítica competitiva, siendo de difícil control a través de la rotación de cultivos. Por esta razón, las estrategias de control se deben concentrar en el desarrollo de la supresividad del suelo. Por ejemplo, en un cultivo de soja, la supresividad se logra por la calidad y cantidad de materia orgánica incorporada al suelo. En este caso, la rotación del cultivo de soja con maíz en verano, intercalada con avena en el invierno, posibilita diversificar la calidad del sustrato que permanece en el suelo en el caso de la siembra directa, aumentando la cantidad y calidad de la materia orgánica favoreciendo así, la presencia de microorganismos antagonistas a los patógenos.

Teniendo en cuenta lo mencionado, estamos en condiciones de asegurar que un sistema con alta diversidad tiene un bajo riesgo de incidencia de enfermedades.

Control biológico

El control biológico o biocontrol, según la definición de Cook & Baker (1983), es la reducción de la densidad de inóculo o de la actividad de un patógeno ya sea en estado activo o latente, como resultado de la acción de uno o más organismos denominados antagonistas.

El control biológico aparece como una alternativa para minimizar los daños causados por los patógenos y reducir el uso de productos químicos. El mismo puede ser realizado mediante:

- Prácticas culturales, que creen condiciones ambientales favorables para la acción de los antagonistas.
- Mejorando genéticamente la capacidad del huésped para activar a los antagonistas naturales.
- Mejorando genéticamente el potencial antagónico de los biocontroladores.
- Mediante la introducción masiva de antagonistas, razas no patógenas u otros organismos benéficos.

El control biológico, aparece, como una alternativa, para minimizar los daños causados por los patógenos y reducir el uso de productos químicos.

De acuerdo con Matta (1985), la lucha biológica contra los organismos fitopatógenos consiste en mantener el equilibrio biológico preexistente a la incorporación de un cultivo, o reconstituirlo y manejar a los antagonistas naturales en situaciones ecológicamente desfavorables. Estas estrategias de acción, estarán basadas en un profundo conocimiento de las características epidemiológicas de la enfermedad. Un antagonista es aquel microorganismo saprobio capaz de interferir en el ciclo de vida de los patógenos vegetales. Pueden ser hongos, bacterias, nematodos o virus, estos son los equivalentes a

los “enemigos naturales” usados en el control biológico de insectos, pero su especificidad es menor.

Varios investigadores han encontrado a diversas especies de *Trichoderma* como antagonistas muy eficientes de diferentes especies de hongos fitopatógenos.

Algunas especies del género *Trichoderma* son muy comunes en diversos suelos, principalmente en suelos ácidos y ricos en materia orgánica. Estas especies son fáciles de aislar, de cultivar y de propagar en diversos substratos y, además, la mayoría de las especies tienen un buen comportamiento como microparásitos, compiten eficientemente por el espacio y nutrientes y tienen un sistema de enzimas capaz de atacar un buen número de fitopatógenos.

La especie *Trichoderma harzianum* ha sido, hasta el momento, el hongo antagonista más utilizado en el control de enfermedades de las plantas. Además, se han obtenido nuevos biotipos tolerantes a fungicidas, con una mayor habilidad antagonista que los aislamientos originales. Elad *et al.* (1993) obtuvieron muy buenos resultados en el control del moho gris en zapallo con cepas de *Trichoderma harzianum* resistentes a iprodione o vinclozolin, y demostraron que las cepas resistentes tenían las mismas propiedades antagonistas que las cepas salvajes. Dentro de este contexto, se realizaron bioensayos en laboratorio con frutos de tomate inoculados con *Botrytis cinérea*, agente causal del moho gris, observándose una importante disminución de la lesión cuando previamente se infestaron con *Trichoderma harzianum* (Figura 12.1).

Los costos de control biológico pueden resultar menores y de mayor eficiencia, respecto al uso de otras prácticas de control tradicionales, pues, aunque los antagonistas pueden actuar en forma más lenta y en menor escala, su acción puede ser más estable y duradera que el control químico; en este caso, el efecto es temporal y se requieren aplicaciones continuas para lograr una protección adecuada de las plantas.



Figura 12.1: Frutos de tomate inoculados con *Botrytis cinerea* (izquierda), e inoculados con *B. cinerea* y *Trichoderma harzianum* (derecha). Se puede observar la disminución de la lesión en presencia del antagonista. Los círculos blancos muestran el lugar de la lesión

El control biológico no presenta los efectos negativos en el ambiente que presenta el control químico. En este sentido, los productos químicos presentan pérdida de efectividad porque los fitopatógenos generan resistencia a los mismos, debido a las altas dosis y a la frecuencia de aplicación, principalmente a los fungicidas sistémicos. Muchas veces estos productos químicos tienen problemas por revocatoria de registro, por los riesgos toxicológicos de dichos productos, por contaminación de los alimentos y del suelo y por su persistencia en el agua. No sucede esto cuando se utilizan productos biológicos. Sin embargo, el control biológico tiene una serie de restricciones, limitaciones y requerimientos que deben conocerse; los organismos de control son mucho más sensibles a las condiciones ambientales que los productos químicos, tienen algunas limitaciones ecológicas, como su inactivación en el suelo por competencias con otros organismos o por efecto de sustancias químicas, como antibióticos o pesticidas. Para su uso correcto, requieren de muy buen

conocimiento de su biología, su ecología y su mecanismo de acción sobre los organismos que controlan. Además, es más interesante favorecer, con prácticas adecuadas, el desarrollo de especies antagonistas nativas bien adaptadas al ambiente, en lugar de realizar la introducción masiva de antagonistas foráneos, los cuales pueden no adaptarse correctamente en este nuevo ambiente.

Los mecanismos de acción de los agentes de control biológico con base en la ecología microbiana, incluyen acción directa sobre el patógeno a través de la *antibiosis*, *competencia por nutrientes* o nichos, y el *parasitismo* o lisis del agente patógeno (Figura 12.2.). El otro mecanismo es indirecto y opera por alteración de la fisiología de la planta aumentando su capacidad de resistencia al ataque del patógeno, lo cual se denomina protección sistémica o *resistencia inducida*. Asimismo, algunos hongos y bacterias rizosféricos pueden promover el crecimiento de la planta, fortaleciendo sus sistemas naturales de defensa (Figura 12. 3).

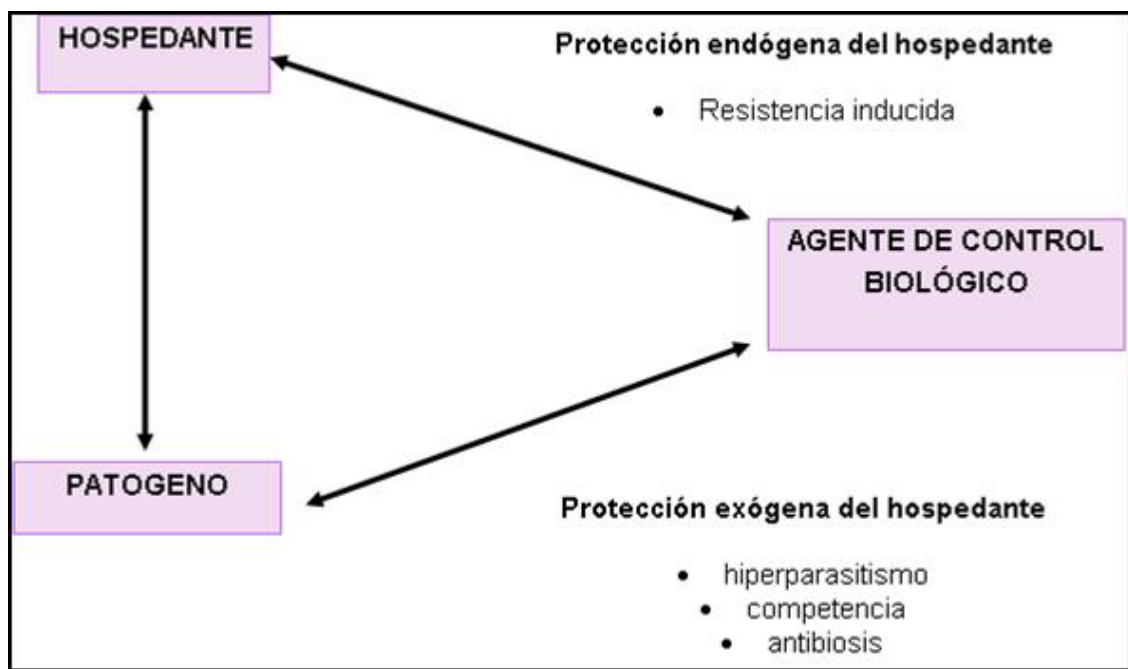


Figura 12.2: Posibles mecanismos de acción de los agentes de biocontrol



Figura 12.3: Plantas de trigo cultivadas en macetas con y sin la incorporación de *T. harzianum* al suelo. Este antagonista estimula el desarrollo radicular de las plantas favoreciendo el crecimiento de las mismas. Las plantas tratadas con el antagonista (derecha) son más robustas y menos afectadas por los patógenos

Antibiosis

La antibiosis es la inhibición o destrucción de un organismo por los productos del metabolismo del otro. En sentido estricto es el antagonismo mediado por metabolitos específicos o no específicos de origen microbiano. Enzimas líticas, compuestos volátiles y otras sustancias tóxicas pueden interrumpir la síntesis de la pared celular y la elongación hifal de los hongos patógenos.

Los géneros fúngicos más utilizados como agentes de biocontrol, *Trichoderma* y *Gliocladium*, suprimen la enfermedad por diversos mecanismos que incluyen la producción de antibióticos estructuralmente complejos como gliovirina, gliotoxina, viridina, trichodermina, suzukacilina, alameticina, dermadina, trichotecenos y trichorzianina, entre otros. Los metabolitos volátiles tienen un efecto esencialmente fungistático, debilitando al patógeno y lo hacen más sensible a los antibióticos no volátiles.

Parasitismo

El micoparasitismo (hongos parásitos de otros hongos) es un complejo proceso entre especies cercanas o muy alejadas sistemáticamente que involucra el crecimiento quimiotrópico del agente de biocontrol hacia el hongo patógeno. Las hifas del agente de biocontrol se enrollan sobre las del patógeno, mediado por la lectina de la pared celular, disuelven sus paredes y pueden llegar a penetrarlas físicamente. La lisis de la pared del hongo patógeno está acompañada por una batería de enzimas extracelulares, incluyendo quitinasas, celulasas, β -1,3-glucanasas y proteasas. Un ejemplo es el enrollamiento de las hifas de *Trichoderma harzianum* sobre las hifas de *Rhizotonia solani* (agente causal de las podredumbres en papa y tomate) (Figuras 12.4 y 12.5). En un cultivo líquido de *T. harzianum* se pueden extraer glucanasas y proteasas como metabolitos secundarios del hongo.

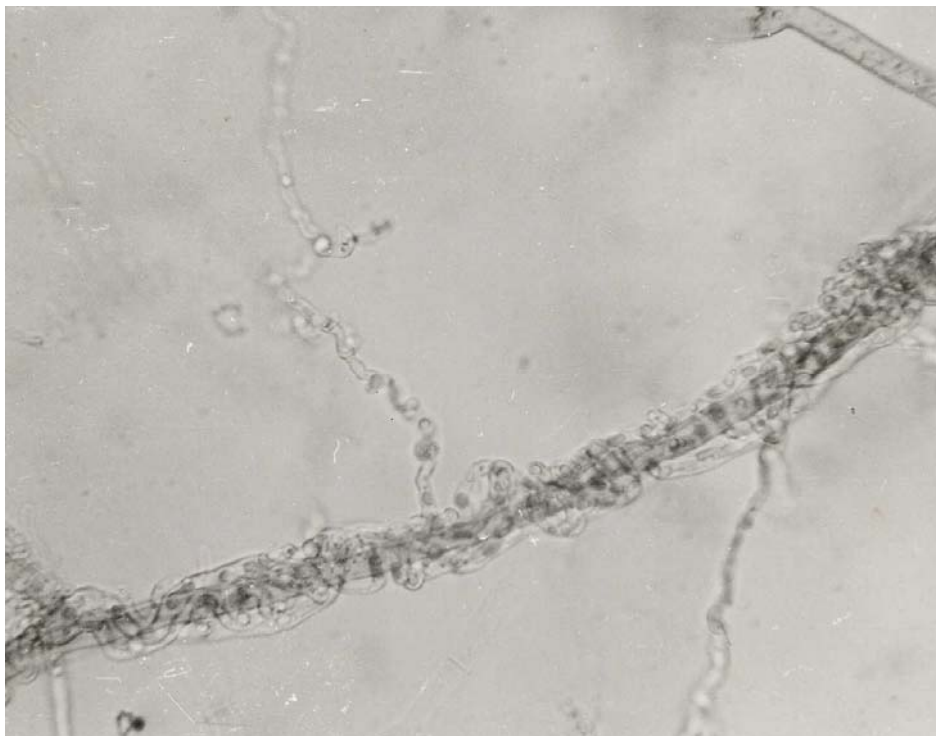


Figura 12. 4: Micoparasitismo: hifas de *Trichoderma harzianum* enrollando una hifa de *Rhizotonia solani* en un cultivo doble en APG en caja de Petri

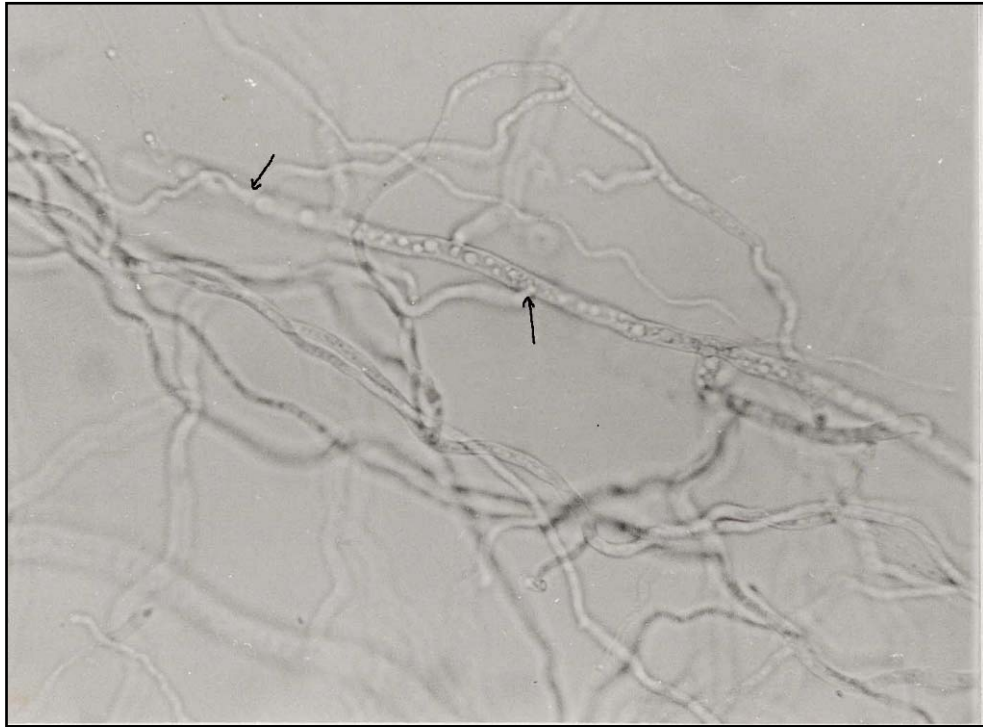


Figura 12.5: Hifas de *T. harzianum* en contacto con hifas de *Sclerotinia sclerotiorum* donde se observa la lisis de la pared del patógeno por efecto del antagonista. Las flechas indican el lugar de contacto de la hifa del antagonista y el patógeno, la hifa del antagonista finalmente penetra en la hifa del patógeno parasitándola

Habilidad saprofítica competitiva

Se define como el comportamiento desigual de dos o más organismos ante un mismo requerimiento (oxígeno, espacio, nutrientes), siempre y cuando la utilización de este por uno de los organismos reduzca la cantidad o espacio disponible para los demás (ver capítulo 9). Este tipo de antagonismo se ve favorecido por las características intrínsecas del agente de control biológico, como plasticidad ecológica, velocidad de crecimiento y desarrollo, pero también depende del tipo de suelo, pH, temperatura, humedad, etc. La habilidad de un microorganismo para colonizar rápidamente su hábitat le confiere gran ventaja competitiva y ha sido considerado uno de los mecanismos clásicos de control biológico (Figura 12.6).

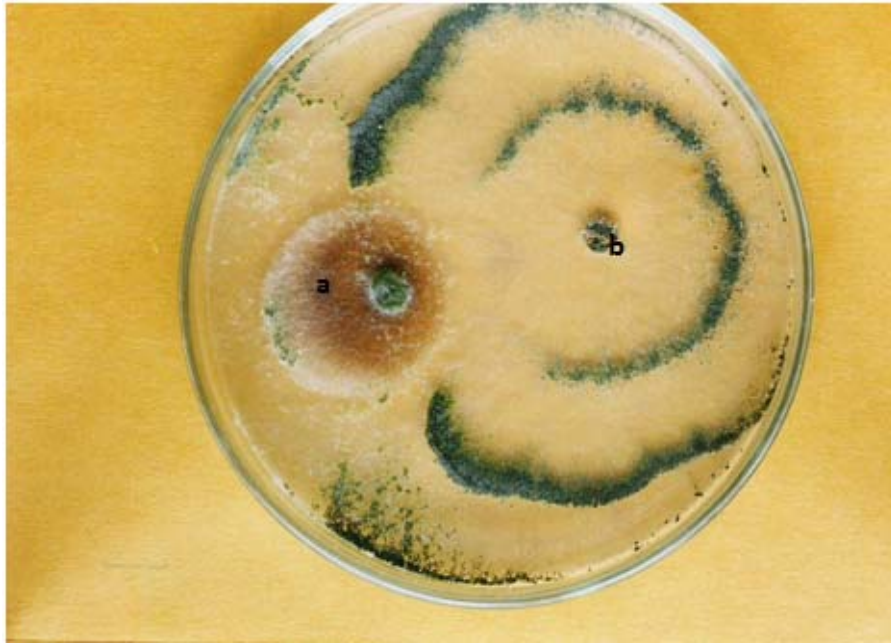


Figura 12.6: Cultivo doble de *T. koningii* (derecha) y *Rhizoctonia solani* (izquierda). Competencia por nutriente y espacio. Se observa el crecimiento de la colonia de *T. koningii* sobre la colonia de *R. solani*

Resistencia inducida

Algunos agentes de biocontrol producen sustancias inductoras (elicitores) capaces de activar cambios fisiológicos y bioquímicos en las plantas (Ej. síntesis de fitoalexinas), que incrementan su tolerancia a subsecuentes infecciones por una variedad de patógenos. Así por ejemplo, entre los mecanismos responsables de la actividad biocontroladora de *Trichoderma* spp. se incluye la activación en la planta de compuestos relacionados con la detoxificación de toxinas excretadas por patógenos y la desactivación de enzimas de estos durante el proceso de infección. Ese fenómeno denominado resistencia inducida ocurre a nivel local o en puntos distantes al sitio de infección del antagonista (resistencia sistémica inducida). La resistencia inducida puede ser biótica o abiótica, dependiendo de su origen. En el primer caso se encuentran involucrados los agentes microbianos, tales como las rizobacterias y algunos hongos saprótrofos (Ej. *Pseudomonas* spp; *Trichoderma* spp.; *Pichia guilliermondii*) o bien razas avirulentas de un patógeno (Ej. *Agrobacterium radiobacter* K84; razas de virus atenuadas; *Fusarium*

oxysporum), además de varios compuestos naturales (Ej. quitosano). Esto se denomina “primming”, ya que la planta cuando se pone en contacto con el inductor adquiere una resistencia que le dura toda la vida. Cordo *et al.*, (2007) observaron que semillas de trigo susceptibles a la Mancha de la hoja, cubiertas por *Trichoderma harzianum* (“pelleteadas”) se comportaron como resistentes frente a la presencia de *Septoria tritici*, agente causal de esta enfermedad.

Los inductores abióticos son de naturaleza química o física y resultan de la aplicación exógena de diferentes sustancias activadoras o estímulos físicos, respectivamente. Los elicitores químicos incluyen el acibenzolar-S-metil, ácido salicílico, ácido nicotínico, ácidos grasos, glicoproteínas, proteínas, péptidos, glicolípidos, lípidos, lipoproteínas, lipopolisacáridos, oligosacáridos y polisacáridos. En relación a los elicitores físicos, se han citado tratamientos con calor o bajas dosis de luz ultravioleta que estimulan los mecanismos de defensa de las plantas.

Predación

Este tipo de interacción se produce cuando los hongos patógenos forman parte de la dieta de algunos microorganismos antagonistas. No ha sido un mecanismo de acción muy importante en el desarrollo de agentes de biocontrol. Los reportes más conocidos citan la presencia de amebas que se alimentan de las hifas de hongos patógenos del suelo como *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*.

Hasta ahora, el método más prometedor parece ser el aumento de los agentes biocontroladores alterando el equilibrio de los mismos en el suelo o aumentando la actividad de la compleja comunidad microbiana, mediante la incorporación de materia orgánica, lo que resulta en el incremento en la liberación de metabolitos tóxicos y la competencia por nutrientes. A medida que la actividad microbiana aumenta, se produce un incremento en la frecuencia de la mortalidad y extinción de los propágulos.

Por lo expuesto, el control biológico se vislumbra como una de las técnicas agroecológicas más prometedoras, redituables y efectivas para incluirla dentro del manejo integrado de enfermedades, especialmente interesante en los siguientes casos:

- Cuando los agentes de control son simbioses mutualistas de los cultivos y les proporcionan mayor vigor o activan los mecanismos de defensa del vegetal.
- En sistemas de producción orgánicos o donde el consumidor no admite el uso de agroquímicos.
- En sistemas de producciones familiares, (el 70% de los productores de la argentina, el 84% en Brasil y el 74% en Uruguay) que no siempre tienen dinero para pagar insumos.
- Cuando los plaguicidas sintéticos tienen poca acción reguladora o los patógenos han adquirido resistencia contra ellos.
- En ambientes sensibles al uso de compuestos sintéticos. En particular lugares cerrados como invernaderos y sitios con presencia constante de personas.
- En las franjas de prohibición de aplicación de pesticidas, muchas de ellas cercanas a centros urbanos.

El control biológico de los patógenos de plantas no debe ser considerado más como un tema de simple interés académico. En 1995 ya se comercializaban al menos 30 agentes de biocontrol para el manejo de patógenos. (Lumsden *et al.*, 1995).

Un organismo o una estrategia de biocontrol considerada no viable en la actualidad podría ser explotada en un futuro, en el cual la agricultura sostenible y la reducción de los impactos sobre el ambiente sean de alta prioridad.

Utilización de cultivos de cobertura

La utilización de cultivos de cobertura y leguminosas, especialmente leguminosas verdes incorporadas al suelo, es una forma muy eficaz para el control biológico de los agentes patógenos de las plantas.

Los residuos de las leguminosas son ricos en nitrógeno, algunos otros cultivos de cobertura lo son en carbono, estos proporcionan, además, vitaminas y sustratos complejos. La actividad biológica se torna muy intensa en respuesta a los cambios de este tipo, lo que puede aumentar la fungistasis y la lisis del propágulo.

Existe abundante bibliografía sobre las prácticas de manejo del suelo que aumentan la actividad y cantidad de antagonistas microbianos (Nico, 2002). Las enmiendas orgánicas se reconocen como iniciadores de dos importantes procesos para el control de las enfermedades: a) aumenta la inactividad de los propágulos y b) aumenta su digestión por microorganismos del suelo. Las adiciones orgánicas aumentan el nivel general de actividad microbiana y, cuantos más microbios encuentren en actividad, más probabilidades hay de que alguno de ellos sea antagonista de los agentes patógenos. Los mecanismos que llevan a reducir la incidencia y la severidad del daño provocado por los hongos de suelo con posterioridad a la incorporación de enmiendas orgánicas no han sido develados por completo.

Las adiciones orgánicas aumentan el nivel general de actividad microbiana y, cuantos más microbios encuentren en actividad, más probabilidades hay de que alguno de ellos sea antagonista de los agentes patógenos.

El fenómeno de supresión puede explicarse por el efecto aislado o combinado de múltiples mecanismos que, en principio, pueden agruparse bajo tres categorías principales (Nico, 2002):

Liberación de sustancias tóxicas presentes en la enmienda

Esto se encuadra dentro del fenómeno conocido como **alelopatía**. El conocimiento de éste fenómeno da lugar a la aplicación de su efecto a través de diferentes prácticas culturales, una de las cuales es la incorporación al suelo del material vegetal de la especie apropiada, ya sea en forma de abono verde o de residuo seco producido "ex situ". Relacionado con esto, podemos mencionar la **biofumigación**. La biofumigación se fundamenta en el manejo de los procesos de biodescomposición de la materia orgánica, con el fin de producir sustancias volátiles, que, al ser retenidas en el suelo, permiten regular las poblaciones de organismos patógenos de los vegetales, evitando la aparición de plagas y enfermedades. Las técnicas de biofumigación se han desarrollado siguiendo la aplicación de criterios ecológicos.

La biofumigación es tan eficaz como los pesticidas convencionales en el control de hongos, nematodos e insectos, no habiéndose observado problemas de bacterias y virus en los cultivos donde se ha aplicado. La biofumigación incrementa la biodiversidad de la fauna edáfica, mejorando a la vez las propiedades físicas y químicas del suelo. El principal factor limitante es el de los costos de transporte de las materias biofumigantes, de ahí la importancia del empleo de recursos locales. La biofumigación incrementa su eficacia en el tiempo, mediante el diseño de sistemas armónicos de producción, que tengan en cuenta otras alternativas de control, como la utilización de variedades resistentes y las prácticas agronómicas basadas en el manejo de la diversidad biológica y ambiental. Además, al poder utilizar también los residuos agroindustriales, la biofumigación hace que la agricultura sea una vía para resolver problemas de impacto ambiental.

Modificaciones microambientales

Surgen de la estimulación de la actividad microbiana con posterioridad a la adición de la enmienda. La adición al suelo de abundantes cantidades de materia orgánica provoca una explosión en la actividad microbiana. Hongos, bacterias y actinomicetes, crecen en abundancia y diversidad y esta estimulación de la microflora nativa puede provocar múltiples mecanismos de antagonismo. De esta manera pueden incrementarse los procesos asociados al "control biológico natural", vale decir el que responde a la acción de microorganismos que ya estaban presentes en el agroecosistema y que no fueron aportados por acción antrópica. Este es, tal vez, el método de control más agroecológico. La estimulación de la flora microbiana se consigue preferentemente con enmiendas de alta relación C/N (por ejemplo paja de cereales, residuos leñosos) y, por tanto, es el tipo de material a emplear cuando el fenómeno de supresividad se atribuye a mecanismos biológicos.

Inducción de resistencia adquirida en el huésped

En ciertos casos, como una reacción ante la presencia de ciertas sustancias en la enmienda, la planta sintetiza sustancias que se traslocan luego hacia todos los órganos y que la protegen frente a la infección y posterior colonización de ciertos hongos patógenos. Esta hipótesis parece adecuarse al caso de las enmiendas orgánicas ricas en quitina (caparazones de crustáceos, residuos de fermentadores para producción de antibióticos, compost residual de champiñón). Estas enmiendas pueden inducir la producción, por parte de la planta hospedante, de enzimas quitinolíticas que otorgan resistencia frente a la infección fúngica.

Nico *et al.*, (2003) estudiaron el efecto de tres enmiendas orgánicas (cama de gallina, polvo de carne y heno de alfalfa) sobre la incidencia de la podredumbre en lechuga ocasionada por *Sclerotinia minor*. Ellos observaron

que la incidencia de la enfermedad fue menor cuando se incorporaron al suelo heno de alfalfa y cama de gallina en una dosis de 7,5 g en 100 g de suelo.

Algunas pautas básicas a tener en cuenta en el diseño de estrategias para evaluar el uso de enmiendas orgánicas en la protección vegetal son, para un caso específico, la enmienda más adecuada, la dosis más recomendable y la forma y el momento de aplicación más apropiados.

Casi sin excepción, el enmendado solo resulta factible cuando se emplean materiales generados relativamente cerca del sitio de aplicación.

Solarización

La solarización del suelo o pasteurización solar es un método físico de control de patógenos, plagas y malezas que consiste en exponer el suelo a la radiación solar, a través de la aplicación de una cobertura plástica fina y transparente sobre el suelo húmedo. En comparación con otros métodos de desinfección del suelo, las temperaturas obtenidas con el calentamiento solar son inferiores. De esta forma, los efectos sobre los componentes del suelo son, probablemente, menos drásticos. Así, los procesos microbianos, inducidos por la solarización, pueden resultar en un control biológico del patógeno sumado al efecto físico.

Son tres los mecanismos por los cuales el control biológico puede operar durante la solarización del suelo:

1. La fungistasis, que mantiene a los propágulos de los hongos en estado de dormancia y parcialmente anulada entre los 45-50°C, así los propágulos recién germinados están expuestos a la acción de microorganismos líticos u otros factores ambientales adversos.
2. Temperaturas subletales que pueden debilitar las estructuras de resistencia, haciéndolas vulnerables a la acción de antagonistas.
3. Cambios en la población microbiana del suelo, favoreciendo a los saprófitos termorresistente, reduciendo la población de los patógenos que, en general, son más sensibles al calor.

Los hongos termotolerantes y los actinomicetes son afectados en menor grado que los fitopatógenos, por lo cual fácilmente recolonizan el suelo solarizado (Katan, 1980).

La integración de diferentes métodos de control de las enfermedades de las plantas constituye una alternativa con mayores chances de éxito que la utilización de una sola práctica. La complejidad del agroecosistema requiere un estudio multidisciplinario para que puedan resolverse los problemas.

Uso de Agroquímicos

En aquellos casos en los que el nivel de resistencia genética no fuera suficiente para evitar pérdidas económicas causadas por enfermedades, o bien el control biológico y las demás prácticas culturales no logren reducir el inóculo de los patógenos, el control químico, puede ser una medida de control emergencial y rápida, teniendo como inconveniente el costo de su utilización y el riesgo de contaminación ambiental.

En esta situación, la sustentabilidad económica y ecológica solamente podrían ser alcanzadas si la aplicación de fungicidas para el control de una enfermedad específica es fundamentada en el concepto de **Umbral de Daño Económico (UDE)**.

El concepto de UDE se expresa como el valor de enfermedad en el cual la pérdida ocasionada equivale al costo de aplicación del fungicida. Los investigadores justifican que la aplicación de fungicida debe ser hecha antes que la epidemia de una enfermedad alcance o exceda el UDE, por lo tanto se sugiere el **Umbral de Acción (UDA)** como el mejor indicador del momento de aplicación de fungicidas.

Umbral de Daño Económico: El UDE es determinado utilizando como base la fórmula de Munford & Norton (1984) modificada para enfermedades:

$$IE = Cc / (Pp * Cd * Ec)$$

Donde,

IE: Intensidad de la enfermedad

Cc: costo de control

Pp: precio de la tonelada de cultivo.

Cd: coeficiente de daño.

Ec: eficiencia de control del fungicida usado

El mayor éxito en el control de una enfermedad se logra con la aplicación de varias prácticas. El control integrado es un sistema en el cual se aplica una secuencia de métodos, de manera de causar los menores perjuicios al hombre y al ambiente, colaborando con el control natural. Debe haber una mínima interferencia entre los métodos aplicados, siendo interesante un efecto aditivo o sinérgico, en el que cada medida de control refuerce a las demás.

Conclusiones

Los elementos de manejo de enfermedades se deben concentrar en la reducción del inóculo de un patógeno para alcanzar la sustentabilidad de la actividad agrícola.

La simple presencia de un patógeno no debe ser motivo de preocupación, pero si la intensidad de sus daños. Esos efectos son los que deben ser reducidos o evitados por el manejo integrado. El uso de técnicas aisladas para el manejo de enfermedades, casi siempre resulta insuficiente para reducir el inóculo a una densidad que no cause daños en el cultivo. La combinación de prácticas culturales asociada al empleo de otras formas de manejo, como el control biológico, la quimioterapia, el uso de resistencia genética, la solarización y el uso de enmiendas orgánicas, es recomendable dentro de un programa de manejo integrado de enfermedades.

Preguntas para el repaso y la reflexión

- 1.- *¿De qué manera la Agricultura moderna ha influido en la severidad de las enfermedades?*
- 2.- *¿Cuál es la diferencia entre Control y Manejo de enfermedades?*
- 3.- *La incorporación de técnicas de labranza conservacionista podrían aumentar la población de patógenos del suelo. ¿Por qué? ¿Está de acuerdo con que se realice como práctica de manejo Siembra directa y Monocultivo? ¿Por qué?*
- 4.- *En un ecosistema natural las plantas conviven con los patógenos con los que han coevolucionado. ¿Por qué en un agroecosistema se producen epifitias? A su criterio ¿cómo podría evitar las explosiones de una enfermedad?*
- 5.- *¿Cuáles son las principales enfermedades que afectan los cultivos en su zona? A través del tiempo, ¿cómo han evolucionado? ¿Por qué algunas aumentaron y/o disminuyeron? ¿Cuáles podrían ser las causas? ¿Cómo lo solucionaría teniendo en cuenta la conservación del ambiente?*
- 6.- *Defina rotación de cultivos. En su zona, ¿qué cultivos rotaría y por qué? ¿Cómo determinaría el tiempo que un cultivo puede ser sembrado nuevamente en un mismo lote?*
- 7.- *A su criterio, ¿qué influencia podrían tener la densidad y la profundidad de siembra sobre la incidencia de las enfermedades provocadas por hongos habitantes del suelo en un cultivo extensivo?*
- 8.- *¿Considera que la solarización, como método de desinfección del suelo, es una práctica conservacionista? ¿Por qué? ¿En qué se diferencia de la utilización de un fumigante de suelo?*
- 9.- *¿Qué mecanismos de control biológico se ponen en juego durante la solarización?*
- 10.- *¿Mediante qué prácticas puede realizarse el control biológico de las enfermedades?*
- 11.- *¿Qué mecanismos emplean los antagonistas para disminuir la severidad de una enfermedad?*
- 12.- *¿Considera que la incorporación de materia orgánica al suelo mejora la sanidad del mismo? ¿Qué mecanismos cree que se ponen en juego?*
- 13.- *Cuando una enfermedad es ocasionada por un parásito biotrófico, ¿cuál cree que sería la mejor práctica de manejo? ¿Por qué?*
- 14.- *¿Qué es el Umbral de Daño Económico? ¿Qué elementos se tienen en cuenta para su implementación?*

Bibliografía citada

- Altieri M (1999) Manejo y Ecología de las enfermedades de los cultivos En: Agroecología: bases científicas para una agricultura sustentable. Capítulo 15. Pp 421-436. Editorial Nordan-Comunidad. Uruguay.
- Apple J (1977) The theory of disease management. En: Plant Disease. An Advanced Treatise. Horsfall J & A Cowling. Eds. Academic Press, New York, pp. 79-101.
- Ballvora A, M Ercolano, J Khalid Meksem, C Bormann, P Oberhagemann, F Salamini & C Gebhardt (2002) The R1 gene for potato resistance to late blight (*Phytophthora infestans*) belongs to the leucine zipper/NBS/LRR class of plant resistance genes. The Plant Journal 30: 361-371.
- Cook R & K Baker (1983) The nature and practice of biological control of plant pathogens. St. Paul: The American Phytopathological Society. 539 pp.
- Cordo C, C Mónaco, C Segarra, A Perelló, D Bayo, A Mansilla, N Kripelz & R Conde (2007) *Trichoderma* spp. as elicitors in the defense responses of wheat plants against *Septoria tritici*. Biocontrol Science and Technology 17: 687-698.
- Derpsch R (1985) Adubacao verde e rotacao de culturas. En: Encontro Nacional de Plantio Directo, 3. Ponta Gossa. Anais. Castro: Fundacao ABC. pp. 85-104.
- Elad Y, G Zimad, Y Zaks, Z Zuriel & I Chet (1993) Use of *Trichoderma harzianum* in combination or alternation with fungicides to control cucumber grey mould (*Botrytis cinerea*) under commercial greenhouse conditions. Plant Pathology 42: 324-332.
- Katan J (1980) Solar pasteurization of soils for disease control: status and prospects. Plant Disease 64: 450-454.
- Lumsden RD, J Lewis & JC Loke (1995) Biological pest control agents: formulation and delivery. American Chemical Society, Washington, D.C. 245 pp.
- Matta A (1985) Lotta biologica, quale strategia? La difesa delle piante 2: 95-98.
- Munford J & G Norton (1984) Economics of decision making in pest management. Ann. Rev. Entomology 29: 157-174.
- Nico A (2002) El empleo de enmiendas orgánicas para el control de hongos de suelo y nemátodos. En: Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable. S. Sarandon, Ed. Ediciones Científicas Americanas. La Plata, Argentina: 319-329.
- Nico A, MC Rollán, C Mónaco & G Dal Bello (2003) Organic amendment effect on survival and pathogenic ability of *Sclerotinia minor* sclerotia. Biological Agriculture & Horticulture: 21: 103-114.
- Reis E, R Casa & M Carmona (2002) Elementos para el manejo de enfermedades. En: Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable. SJ Sarandon, Ed Ediciones Científicas Americanas, La Plata, Argentina. pp. 275-308.

Glosario

“Sanitation”: es la eliminación de la parte enferma de una planta en un cultivo, como medida para disminuir la enfermedad en un predio.

Resistencia vertical: es una resistencia que es efectiva contra algunos genotipos de una especie patógena, pero no a otros. Esta resistencia simplemente se hereda monogenéticamente, se identifica fácilmente, y, por lo general, proporciona altos niveles de resistencia o incluso inmunidad contra genotipos frecuentes de un agente patógeno.

Resistencia horizontal: no es específica a ninguna cepa y generalmente provee una resistencia incompleta (es decir, que no suprime por completo la reproducción de los agentes patógenos) y generalmente se hereda cuantitativamente. Se considera que, en general, la resistencia horizontal es más estable que la vertical.

Monocultivo: Muchas veces, se confunde el significado de los términos sucesión y rotación de cultivos. Conceptualmente, la sucesión de cultivos es una secuencia preestablecida de cultivos dentro de un mismo año o campaña agrícola. El cultivo de trigo, por ejemplo, después de la soja, a lo largo de dos años es considerado como una sucesión de cultivos y no como una rotación. En este sistema se obtiene monocultivo de trigo en invierno y monocultivo de soja en el verano.

Alelopatía: diversas especies de plantas superiores producen metabolitos secundarios que resultan inhibidores del desarrollo de otros organismos vegetales. Esta propiedad de la sustancia elaborada por la planta se conoce como "efecto aleloquímico" y es frecuente en ciertas familias botánicas. Muchas especies de compuestas y crucíferas sintetizan sustancias que tienen efecto tóxico frente a algunos hongos de suelo. Si bien no es estrictamente alelopatía la inhibición atribuible a sustancias metabólicas secundarias también afecta frecuentemente a hongos de suelo y nemátodos fitoparásitos, fundamentalmente en diversas especies de compuestas, leguminosas y liliáceas.

CAPÍTULO 13

MANEJO DE LA BIODIVERSIDAD EN AGROECOSISTEMAS

Claudia C. Flores y Santiago J. Sarandón

Introducción

La promoción de agroecosistemas y paisajes diversificados es una estrategia clave a la hora de avanzar en el diseño de sistemas basados en los principios de la Agroecología. La idea central es transformar la estructura y función de los agroecosistemas para optimizar los servicios ecológicos que brinda la biodiversidad (ver Capítulo 5). De esta manera, se busca disminuir el uso de insumos externos y minimizar los impactos ecológicos, económicos y sociales derivados de su uso (ver Capítulo 1).

El diseño y manejo de la biodiversidad dentro de los agroecosistemas incluye a la diversidad productiva o planificada (animales y cultivos), el resto de la vegetación, la biota funcional que vive en el suelo y los demás organismos que cohabitan con dichas plantas (beneficiosos, dañinos y otros), incluyendo los que son introducidos como parte del manejo (controladores biológicos, micorrizas, polinizadores, entre otros).

El manejo de la diversidad vegetal (tanto cultivada como espontánea) es estratégico, porque conlleva a un incremento de la diversidad en la biota asociada. El aumento de la diversidad puede lograrse con diferentes estrategias: rotaciones de cultivos, el uso de policultivos, el uso de abonos verdes o cultivos de cobertura, a través de sistemas agroforestales, bordes, cercas y manejo de la vegetación espontánea. Todo esto está estrechamente relacionado con los objetivos y conocimientos de los agricultores, es decir, de la diversidad cultural.

El objetivo de este Capítulo es analizar algunas de estas estrategias de manejo de la biodiversidad en los agroecosistemas con el propósito de reducir su vulnerabilidad ecológica tanto a nivel de la finca como del paisaje rural.

Ventajas de la diversificación

El incremento de la diversidad en agroecosistemas es una estrategia de manejo que ha demostrado muchas ventajas, entre otras (Power, 1999):

- Conlleva a una mayor diversidad de biota asociada.
- Asegura una mejor polinización y una mayor regulación de plagas, enfermedades y malezas.
- Mejora el reciclaje de nutrientes y la captación de energía.
- Los sistemas diversos y complejos tienden a tener mayor productividad total.

Este incremento de la biodiversidad puede lograrse de diversas maneras actuando tanto sobre la vegetación cultivada como sobre la vegetación extra-cultivo.

Estrategias para el aumento de la diversidad cultivada

Un manejo adecuado de la diversidad cultivada implica la elección, entre el conjunto de recursos genéticos disponibles, de aquellas especies y variedades que generen las mejores cualidades emergentes para aumentar la estabilidad y la productividad del sistema (ver Capítulos 5 y 6) (Soriano Niebla & González Gutiérrez, 2012)

Para ello se pueden utilizar diferentes estrategias:

Rotaciones

Se define como rotación a la alternancia regular y ordenada en el cultivo de diferentes especies vegetales en secuencia temporal en un área determinada (Geisler, 1980). En consecuencia, las rotaciones incrementan la diversidad temporal y espacial del agroecosistema (Francis & Clegg, 1990).

Se pueden diseñar muchos esquemas diferentes de rotaciones de cultivos pero los mismos deben ajustarse a las siguientes pautas (Arnon, 1972 modificado):

- Alternar especies de plantas con diferente habilidad para absorber nutrientes del suelo o que tengan sistemas radicales que alcancen diferentes profundidades. Es decir aquellas especies que tengan nichos ecológicos parcialmente superpuestos (ver Capítulo 9)
- Alternar especies vegetales susceptibles a ciertas enfermedades y plagas con aquellas que son resistentes: de esta manera se logra, entre otros objetivos, disminuir la presión de selección y reducir la aparición de resistencia.
- Planificar las secuencias teniendo en cuenta todo efecto negativo o positivo de un cultivo sobre el siguiente. Estos efectos se asocian a la liberación de sustancias tóxicas (alelopatía), al suministro de nutrientes, al incremento de materia orgánica, etc.
- Alternar el uso de cultivos que tienden a agotar el suelo con cultivos que contribuyen a mejorar su fertilidad (por ejemplo gramíneas y leguminosas)
- Alternar especies con diferentes necesidades de mano de obra, máquinas e implementos, agua, etc. en épocas diferentes.

El potencial de las rotaciones de cultivos, como estrategia adecuada para manejo de los agroecosistemas ha sido reconocida debido a sus principales características (Studdert & Echeverría, 2000):

- Permiten la combinación de cultivos con distintas estrategias y momentos de utilización de recursos (leguminosas que fijan nitrógeno, cultivos con

sistemas radicales superficiales, cultivos con sistemas radicales profundos, etc.) o que exhiban otras características que incidan sobre el suelo o las plantas (por ejemplo, especies alelopáticas).

- Contribuyen al control de malezas, plagas y patógenos.
- Inciden sobre las propiedades del suelo y la erosión del mismo.
- Viabilizan el manejo de la cantidad y la calidad de los productos exportados del sistema de producción y de los residuos que se restituyen al suelo,
- Promueven una diversificación de la producción que da al sistema una mayor estabilidad frente a adversidades ambientales y/o económicas-financieras.

La alternancia de especies con diferente hábito de crecimiento, precocidad, sistema radical (profundidad, masa, longitud, capacidad exploratoria), uso de agua y nutrientes, resistencia a enfermedades, diferentes habilidades de competencia y asociación con malezas produce un mayor equilibrio de la biodiversidad y de las características químico-físicas del suelo. Esto conduce a una combinación de factores abióticos (suelo y clima) y bióticos (enfermedades, plagas de insectos y malezas) que favorece el crecimiento y desarrollo de las plantas de interés económico (Karleen et al, 1991, Karleen et al., 1994).

Las rotaciones de cultivo brindan numerosos efectos benéficos para la optimización de numerosos procesos ecológicos. Aunque su importancia fue reconocida desde tiempos ancestrales es, en apariencia, una práctica tan sencilla y poco espectacular que fue una de las primeras prácticas en ser descartadas con el advenimiento de la agricultura industrial.

Desde el punto de vista de los *procesos de regulación biótica*, Francis & Clegg (1990) establecieron los efectos de la rotación de cultivos sobre la interrupción de los ciclos biológicos de enfermedades y artrópodos. Lampkin (1990), por su parte, señaló que en los sistemas de producción orgánicos, las rotaciones constituyen la medida principal para el control de malezas, plagas y enfermedades.

Las rotaciones contribuyen a los procesos de regulación biótica debido a cambios en la susceptibilidad a las plagas y enfermedades de los cultivos involucrados en la rotación, por cambios en las labores de los diferentes cultivos

(que permiten interrumpir el ciclo de las plagas y patógenos) o por la generación de residuos que promueven la actividad de organismos antagónicos de plagas y enfermedades (Altieri, 1999; Altieri & Nicholls, 2000; Gliessman, 2001).

Por ejemplo, Martinuk & Wagner (1978) encontraron que las rotaciones de cultivos provocaron una reducción de hongos del género *Fusarium* comparados con sistemas que recibieron fertilización química (NPK) o estiércol.

Por su parte, Baxendale (1987, citado por Francis & Clegg 1990) señaló que, en el cultivo de maíz, el crecimiento de las poblaciones de *Diabrotica sp* a niveles de importancia económica ocurrió en menos del 1% de los casos si el antecesor fue soja y en 1/3 de los casos si el antecesor fue maíz.

Desde el punto de vista del control de malezas, Lamping (1990) señala la importancia de las rotaciones dado que las comunidades de malezas son particularmente sensibles a los cambios en las especies de cultivos usados de una estación a otra. Diferentes especies de cultivos compiten o suprimen el crecimiento de malezas con distinta intensidad. Por ejemplo, la avena (*Avena sativa*) tiene una alta competitividad con las malezas en comparación al trigo (*Triticum aestivum*). Por lo tanto, puede ser incluida tardíamente en la secuencia de cultivos (Giaccio, 2013) para limpiar el lote antes del inicio de una nueva secuencia.

Otras especies que pueden ser incluidas en la rotación son capaces de generar efectos alelopáticos que impiden el desarrollo de las malezas. Se ha observado que el sorgo, el girasol y otros cultivos reducen el uso de herbicidas tanto durante su desarrollo como en años siguientes (Sampietro, 2013).

Por otra parte, la inclusión de praderas en el esquema de rotaciones, permiten la reducción de la población de malezas por competencia con las especies forrajeras de mayor vigor así como por su remoción por el pastoreo o corte (Venegas, 1990).

Desde el punto de vista del *ciclado de nutrientes* las rotaciones son de vital importancia ya que modifican la cantidad y calidad de la materia orgánica del suelo y con ello el aporte de nutrientes para cultivos futuros. Por ejemplo, Latanzzi *et al.* (2006), en ensayos realizados en Marcos Juárez, Argentina, encontraron que las

rotaciones agrícolas que incluyeron gramíneas y leguminosas (Trigo/Soja-Maíz; Maíz-Soja; Sorgo-Soja) fueron más eficientes para incorporar carbono que las de alta proporción de leguminosas (Trigo/Soja-Soja; Girasol-Soja y Soja-Soja).

Desde el punto de vista del *control de la erosión* la alternancia de cultivos permite disminuir las pérdidas de suelo ocasionadas por este fenómeno. Por ejemplo, según una investigación realizada por el grupo de Recursos Naturales del INTA Paraná (Entre Ríos, Argentina), la rotación de cultivos disminuye la pérdida de suelos de 500 a 1100 kg* ha⁻¹*año, comparada con el monocultivo de soja. Además, según el mismo estudio, las rotaciones disminuyen a la mitad la pérdida de agua por escurrimiento superficial (INTA informa, 2011).

Policultivos

Los policultivos, cultivos mixtos, intercropping o cultivos consociados son sistemas de cultivos múltiples, donde dos o más cultivos crecen juntos en la misma superficie de tierra durante parte o todo su ciclo.

Contribuyen al aumento de la diversidad específica, vertical, estructural y funcional de los agroecosistemas (Gliessman, 2001) (ver Capítulo 5) presentando como beneficios un mejor comportamiento ante la presencia de adversidades (enfermedades, malezas y plagas) y/o una mayor eficiencia en el uso de los recursos (Sarandón & Labrador Moreno, 2002; Sarandón & Chamorro, 2003).

Sin embargo, estos beneficios no se logran simplemente mezclando un cultivo con otro. Para poder desarrollar con éxito un sistema de policultivo es fundamental entender los mecanismos ecológicos que pueden provocar su mayor rendimiento. Muchos fracasos en el uso de este sistema de cultivos múltiples se deben al hecho de no haber comprendido sus principios de funcionamiento: sólo se han copiado asociaciones de cultivo que en algún otro agroecosistema han resultado exitosas pero que trasladadas a otras situaciones no reproducen dicho éxito. Es por esto que se dice que los policultivos son sitio específicos dado que

los resultados no pueden extrapolarse linealmente de un sitio a otro. Por ello, es fundamental entender los principios ecológicos en que se basan.

*Principios ecológicos que explican el funcionamiento de los policultivos:
Producción Competitiva y Facilitación*

Según Vandermeer (1989), existen dos principios que explican los mecanismos del mayor rendimiento de los policultivos, comparados con los cultivos puros: el principio de producción competitiva y el principio de facilitación.

El principio de **producción competitiva** se produce cuando un componente del policultivo tiene un efecto sobre el ambiente, que causa una respuesta negativa en el otro componente de la mezcla, pero aun así, ambos pueden utilizar más eficientemente los recursos necesarios cuando crecen juntos que cuando lo hacen separados. Existe competencia pero ésta es sólo parcial porque existe un solapamiento parcial de los nichos ecológicos (ver Capítulo 9).

El **principio de facilitación** se observa cuando un componente modifica el ambiente de tal manera que beneficia a la segunda especie o genotipo. Este sería el caso de una planta que sea hospedera de un enemigo natural de una plaga de la planta acompañante. En este caso, la asociación de ambas plantas produce un beneficio que desaparece cuando están separadas.

Los fenómenos de competencia y facilitación pueden darse juntos, y el resultado final del policultivo dependerá de cuál de los dos prevalezca.

Cuando la competencia es mayor que el beneficio de la facilitación, entonces el comportamiento del policultivo es peor que el del cultivo puro. Este puede ser el caso del comportamiento de algunas mezclas de cultivares desarrolladas para disminuir el daño de plagas: en presencia de la plaga, el comportamiento de la mezcla puede ser mejor que el de los cultivos puros pues predomina el efecto de

facilitación por sobre el de competencia; en ausencia de la enfermedad, el efecto de la competencia entre los componentes de la mezcla puede ser mayor que el beneficio de la resistencia al patógeno y el resultado final de la mezcla puede ser peor que el de los cultivos puros (Sarandón & Labrador Moreno, 2002).

La relación entre competencia y facilitación puede depender también de la densidad de siembra de los componentes y de las prácticas agronómicas tales como la fertilización o el riego, lo que sugiere la importancia de elegir una adecuada combinación de los componentes de la mezcla para cada condición de cultivo. La evaluación correcta del comportamiento de los policultivos se vuelve entonces una herramienta esencial para definir su conveniencia (Anexo 13.1).

Beneficios del uso de policultivos

Al igual que en el caso de las rotaciones se han encontrado beneficios en el uso de policultivos para mejorar los *procesos de regulación biótica*. Uno de estos beneficios tiene relación con la regulación poblacional de los insectos herbívoros por la alteración de los mecanismos “*bottom-up*” y “*top-down*” (ver Capítulo 10) a través de medios físicos (protección contra el viento, ocultamiento, sombreado, alteración del color, o la forma) o la interferencia biológica (presencia de estímulos químicos adversos, presencia de parasitoides, etc.).

Según Altieri (1992) las hipótesis que explicarían la menor incidencia de plagas en los policultivos son la hipótesis de los enemigos naturales, la hipótesis de concentración del recurso (ver Capítulo 10), la hipótesis de la resistencia asociacional y la hipótesis de la apariencia de las plantas.

La resistencia asociacional se refiere a que los policultivos brindan una estructura, ambiente químico y microclimas relativamente complejos, además de la resistencia individual. La estratificación de la vegetación dificulta a los insectos la localización de su alimento y la permanencia en pequeños sectores favorables cuando las condiciones microclimáticas son muy fraccionadas.

La hipótesis de la apariencia de las plantas se basa en que la efectividad de las defensas naturales es reducida en los monocultivos, que hacen a las plantas “más aparentes” a los herbívoros que lo que fueron sus antecesoras.

Anexo 13.1 ¿Cómo evaluar el comportamiento de un policultivo?

Una de las limitaciones al desarrollo de estos sistemas de policultivo es la complejidad para evaluar su comportamiento con relación al monocultivo. Esto está asociado a que, para evaluar la performance de los mismos, es necesario utilizar un enfoque holístico para medir el rendimiento del sistema como un todo y no sólo sus componentes.

En la evaluación de un sistema de cultivos múltiples, puede haber 3 posibles situaciones deseables (Sarandón, 2002):

- 1) Que el policultivo rinda más que el cultivo más productivo en monocultivo: Es el caso de las pasturas, mezclas de cultivos muy similares o mezclas de cultivares de la misma especie. Se busca maximizar el rendimiento.
- 2) Que el policultivo tenga por objetivo el rendimiento de un cultivo principal y algo de rendimiento de un cultivo acompañante.
- 3) Que el sistema de policultivo rinda más que los mismos cultivos sembrados puros. En este caso el agricultor necesita la producción de todos los componentes del policultivo y no uno sólo. Lo que se busca es el rendimiento del sistema como un todo.

La manera más frecuente de evaluar el comportamiento de una mezcla es usando índices como la Razón Equivalente de Tierra (Land equivalent ratio o LER) o el Rendimiento Relativo Total (Relative Yield Total o RYT). Este índice da una idea de la cantidad o superficie de tierra que se requiere, sembrando los componentes de un policultivo por separado, para obtener el mismo rendimiento que se obtiene cuando ambos crecen asociados. A mayor valor de este índice, mayor ventaja del policultivo respecto a la siembra de cada uno de los componentes de la mezcla en monocultivo. Por ejemplo, un valor de 1,2 indica que se necesitarían 1,2 has de tierra si se sembraran dos cultivos por separado, para obtener lo que se obtendría en sólo 1 ha si se sembraran juntos.

El valor de LER o RYT de una mezcla dada es la suma de los rendimientos relativos de sus componentes comparados con el monocultivo (Silvertown, 1982). LER o RYT es calculado como:

$$RYT = RY_{ij} + RY_{ji}$$

$$\text{Siendo } RY_{ij} = Y_{ij}/Y_{ii} \text{ y } RY_{ji} = Y_{ji}/Y_{jj}$$

donde Y_{ij} es el rendimiento relativo del cultivar (o especie) i en la mezcla con el cultivar (o especies) j , Y_{ii} es el rendimiento del cultivar (o especies) i cuando crece puro.

Parece un poco complicado (de hecho, es más complicado que medir sólo el rendimiento de un cultivo), pero es bastante sencillo. Un valor de RYT o LER mayor a 1 indica un mayor rendimiento o un beneficio del policultivo contra el monocultivo. Un valor igual a 1 indica que no hay ventaja (indiferencia) y un valor menor a 1 indica que el rendimiento o comportamiento del policultivo es peor que el de los cultivos aislados.

Otro mecanismo es el efecto de los cultivos trampa. En este caso, el cultivo asociado es preferido por la plaga que, de otra manera, atacaría al cultivo principal.

A pesar de que estas hipótesis intentan explicar las razones por las cuales los policultivos son menos atacados por plagas que los monocultivos, existen numerosos casos en que ninguna de ellas da cuenta completamente del por qué los policultivos son menos atacados que los monocultivos por las plagas. Se debe tener en cuenta que no siempre los cultivos asociados logran su objetivo con la plaga deseada, lo que sugiere que el efecto del intercultivo y la efectividad de los cultivos trampa suele ser específico y que no puede generalizarse como receta.

Por ejemplo, en un experimento realizado con crisantemo (*Deandranthema grandiflora* Tzvelev) intersembrado con trébol subterráneo (*Trifolium subterraneum* L.) para analizar el comportamiento del trips *Frankliniella occidentalis* (den Belder *et al.*, 1999) la presencia del trébol no sólo no disminuyó los niveles poblacionales del trips en crisantemo, sino que, ante un mismo nivel de ataque, las plantas de crisantemo consociadas con trébol, presentaban mayores daños que las que estaban solas. Estos autores concluyen que la calidad del alimento puede ser modificada por el cultivo acompañante y que esto habría motivado el mayor daño.

La distancia y distribución de las plantas consociadas es muy importante en el diseño de sistemas de policultivos. Potts & Gubnadi (1991) encontraron que el policultivo redujo las poblaciones de *Myzus persicae*, *Aphis gossypii* y *Empoasca spp.*, cuando la separación entre las plantas de papa y cebolla fue menor de 0,75m., pero no a mayores distancias.

La elección, por lo tanto, del sistema más apropiado debe estar basada en el conocimiento de las características del agroecosistema, de la dinámica de la plaga, sus hábitos de búsqueda y localización de las plantas hospederas y de la interacción que tiene lugar entre las plantas que componen el policultivo.

Por otra parte, existen numerosos estudios de los beneficios del uso de policultivos o mezclas de cultivares para mejorar el comportamiento ante las enfermedades, especialmente para el caso de los cultivos extensivos en zonas templadas, como los cereales. En algunos casos, las mezclas de cultivares han

logrado una reducción del 97% en la incidencia de enfermedades en comparación con el monocultivo (Finckh & Mundt, 1992).

La diversificación para el control de las enfermedades puede alcanzarse de dos maneras: el uso de multilíneas y la mezcla de cultivares.

Las multilíneas consisten en una mezcla de una serie de líneas puras, de comportamiento agronómico similar, para introducir diversidad dentro de una variedad para lograr lo que se conoce como resistencia horizontal. Por ejemplo, Borlaug (1959) propuso obtener multilíneas de trigo retrocruzando líneas que diferían en su susceptibilidad a diferentes razas de royas, pero manteniendo la uniformidad en otras características agronómicas.

Las mezclas de cultivares, en cambio, están compuestas por diferentes cultivares o genotipos seleccionados por su buena capacidad combinatoria “a priori” (nichos parcialmente superpuestos), mezclados en diferentes proporciones. No se busca necesariamente una uniformidad en los caracteres agronómicos.

El uso de policultivos ha sido considerado también como una estrategia adecuada para el control de malezas, basado en su capacidad para explorar y utilizar más eficientemente los recursos en comparación con los monocultivos. Por lo tanto, menos recursos quedan disponibles para las malezas. Liebman & Dyck (1993) enumeraron una serie de experiencias donde la disminución en la biomasa de las malezas en los policultivos, fue mayor que la de los componentes de la mezcla cuando crecen solos (ver Capítulo 11).

Además de las ventajas que presentan los policultivos en relación al control de adversidades, uno de los aspectos más relevantes es su supuesta mayor eficiencia, comparados con los monocultivos, en el uso de los recursos (agua, luz, nutrientes). En un monocultivo, las plantas pueden no utilizar todos los recursos disponibles en una determinada área, debido a que todos los genotipos son similares y utilizan los mismos recursos al mismo tiempo (Sarandón & Sarandón, 1995). Trenbath (1986) sugirió la hipótesis de que en muchos ambientes agrícolas, estos factores o recursos pueden ser más completamente utilizados y convertidos en biomasa por un policultivo que por un cultivo puro.

El policultivo puede “ampliar los recursos del sistema” por una utilización más completa de los mismos para su conversión a biomasa en comparación con un monocultivo en el cual no se hacer uso de todos los recursos disponibles en una determinada área.

Distintos sistemas de policultivos

La posibilidad de poner en juego los principios de producción competitiva y/o facilitación puede darse a través de mezclas de especies o de cultivares de una misma especie, de acuerdo a varios diseños de siembra o distribución de cultivos. La elección del sistema más apropiado dependerá de varios factores, como recursos disponibles, especies elegidas, genotipos y tipo de manejo.

Mezcla de especies: el éxito de una mezcla de especies dependerá de una buena elección de las especies que lo conforman y del diseño espacial de siembra. El diseño más adecuado dependerá de las condiciones del cultivo y del principio ecológico que quiera aprovecharse. Diseños que pueden ser adecuados para ciertos sistemas pueden no serlo para otros. Incluso la distancia o tipo de siembra: en franjas, surcos o totalmente al azar (Figura 13.1) son altamente dependientes de varios factores. Por ejemplo, un diseño en franjas muy anchas no sería adecuado si pretendemos diseñar un policultivo en base al principio de producción competitiva (diferente aprovechamiento espacial o temporal de los recursos), dado que este principio se dará solo en las zonas de transición entre una franja y otra. Este mismo diseño sí podría ser útil si queremos utilizar el principio de facilitación para, por ejemplo, favorecer la presencia de algún enemigo natural.

Un ejemplo de la importancia de una correcta elección en el diseño es el descrito por Putnam & Allan (1992) quienes evaluaron diferentes arreglos espaciales en una mezcla de girasol (*Helianthus annuus* L.) con mostaza (*Brassica hirta* Moench). Sembraron el girasol intercalado con mostaza en surcos y en franjas y los compararon con los rendimientos de los cultivos puros, durante 2

años. Las plantas de mostaza adyacentes a las de girasol en el cultivo en franjas, rindieron un 61% más que el cultivo puro y las plantas de girasol adyacentes a las de mostaza un 40% más que las de cultivo puro. Pero el rendimiento de las plantas de girasol y mostaza en el sistema de surcos intercalados fue menor que el de los cultivos puros. Según los autores, el mayor rendimiento de los cultivos en franjas se debió a sus diferentes ritmos de demanda de agua. Las plantas de mostaza utilizaron el agua más temprano en la estación que las de girasol. Esto permitió el uso complementario del recurso en las zonas adyacentes entre ambos cultivos, de acuerdo al principio de producción competitiva. Esto no ocurrió en los surcos internos de los monocultivos ya que la competencia era intraespecífica. A su vez, las diferencias entre especies en su madurez, favoreció un uso más eficiente del N que en los cultivos puros, debido a la tendencia a ecualizar su uso.

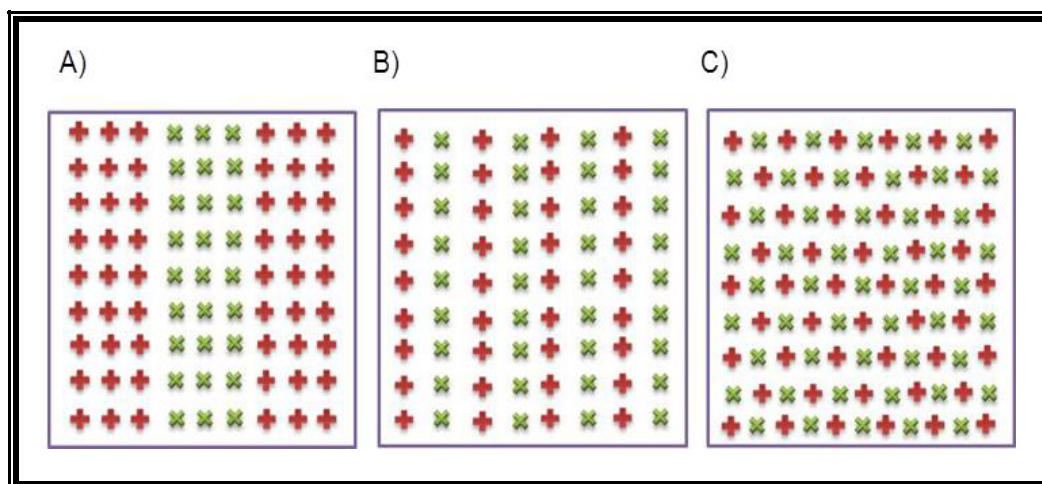


Figura 13.1: Diferentes posibilidades de diseños para sistemas de policultivos: A) en franjas, B) en surcos y C) al azar

Hay que tener en cuenta que el ancho de las franjas de girasol y mostaza debe ser el suficiente como para que puedan acumularse estos recursos, pero no demasiado grande como para que el efecto de la zona de interacción entre especies sea limitado.

Policultivos con leguminosas: la asociación con especies leguminosas, es considerada en muchos países como un sistema adecuado para minimizar el

riesgo de falla del cultivo bajo condiciones no favorables, estabilizar los rendimientos y mantener la salud del suelo. La compatibilidad entre leguminosas y otro tipo de plantas, mayormente gramíneas-cereales, se debe a las diferencias en su habilidad para la captura de N, lo que sugiere que sus nichos están sólo parcialmente superpuestos y su combinación, es de esperar, sea entonces generalmente exitosa.

Por ejemplo, Singh *et al.*, (1995) evaluaron el comportamiento de un policultivo de maíz con una especie de poroto (*Phaseolus mungo*). Ellos observaron que, aunque el maíz rindió un 12% menos que en el cultivo puro, el poroto rindió un 31% más y el rendimiento equivalente de maíz fue superior en el policultivo que en el monocultivo de maíz. El policultivo se comportó mejor, con un mejor retorno económico, un mayor valor de LER, una ventaja monetaria y una relación costo-beneficio mayor que el cultivo puro.

El uso de sistemas de policultivos o cultivos múltiples en zonas templadas, en grandes extensiones, requiere un rediseño de los sistemas que se adapten a las modalidades de cultivo predominantes. El advenimiento de los sistemas de labranza conservacionistas con menor remoción de suelo o con franjas permanentemente cubiertas, ha renovado el interés en evaluar los sistemas de "strip-intercropping", o franjas intercaladas, de soja y maíz. West & Griffith (1992) probaron franjas de 8 surcos de maíz y 8 de soja contra la producción de los cultivos puros. En las franjas de maíz, las hileras que estaban adyacentes a las de soja rendían más (hasta un 25% más) comparadas con los maíces en monocultivo, pero que la soja adyacente al maíz, disminuía su rendimiento en forma más o menos proporcional. Debido al precio diferencial del maíz y la soja, este sistema podría ser económicamente rentable y competitivo en comparación con los sistemas convencionales. Incluso el sistema podría ser mejorado si las franjas de maíz se aumentaran y redujeran las de soja, aunque esto dependerá del precio relativo de ambos cultivos.

Más allá del efecto que tiene el uso de leguminosas en el cultivo acompañante en el mismo ciclo, el mejor desempeño de los policultivos con leguminosas ha sido atribuido al efecto de éstas sobre la mayor disponibilidad de

N para el cultivo subsiguiente, cuando la fijación de la misma supera a lo extraído por su cosecha o la leguminosa se utiliza como abono verde. En un estudio sobre la intersembra de trébol subterráneo (*Trifolium subterraneum* L) con trigo, Brandt *et al.*, (1989) encontraron que el trébol disminuyó el rendimiento del trigo en el primer año pero lo incrementó en el segundo debido a la liberación de N fijado en el año previo (ver Capítulo 16).

Mezclas de cultivares: las mezclas de cultivares han sido consideradas como una manera potencial de incrementar el rendimiento de los cultivos desde hace tiempo (Harper, 1964) y son una alternativa particularmente interesante para sistemas extensivos mecanizados.

Si las diferencias entre los cultivares mezclados son suficientes para conferirle una diferente habilidad para usar los recursos presentes en un sistema, entonces, la cantidad total de los recursos utilizados por el policultivo puede ser mayor que la de los mismos componentes creciendo en parcelas puras. Esto podría llevar a una mayor producción de biomasa en la mezcla y, eventualmente, una mayor calidad de grano, tal como encontraron en trigo Sarandón & Sarandón (1996).

Los recursos (nutrientes, agua, luz) pueden ser importantes factores para el comportamiento de la mezcla. Las diferencias existentes en los patrones de distribución de las raíces dentro del suelo entre diferentes cultivares puede determinar que el sistema que se desarrolle más tarde ocupe capas más profundas del suelo en las mezclas que en monocultivo (Berendse, 1979). En este caso, el valor del LER (ver anexo 13.1) puede ser mayor a 1. Por ejemplo, Barreyro *et al.* (2000), evaluaron el rendimiento de una mezcla de 2 híbridos de girasol bajo dos niveles de fertilidad nitrogenada, y dos espaciamientos, sembradas en relación 1:1 en hileras alternadas. El comportamiento de las mezclas varió entre los arreglos de siembra. A 50 x 38cm la mezcla produjo más biomasa y rendimiento que los cultivos puros mientras que a 70 x 25cm no hubo diferencias. El LER alcanzó valores de hasta 1,22 para biomasa y 1,19 para rendimiento. El comportamiento de los híbridos fue diferente indicando la importancia de la elección correcta de los componentes.

Un aspecto práctico que hay que tener en cuenta en las mezclas de variedades, es su persistencia en el tiempo. Las interacciones entre los componentes de una mezcla o policultivo causan drásticos cambios en la composición de las mezclas distorsionando el rendimiento de los componentes respecto a lo que sucede en cultivos puros. Es decir, la proporción sembrada no es generalmente la que se cosecha e implica que las mezclas deberán ser reconstituidas por los agricultores todos los años para que mantengan las correctas proporciones entre los componentes que le brindan sus propiedades exitosas.

Cultivos de cobertura

Un cultivo de cobertura (CC) es definido como una cobertura vegetal viva que cubre el suelo en forma temporal o permanente, el cual está cultivado en asociación con otras plantas (intercalado, en relevo o en rotación). Los términos "cultivos de cobertura" y "abono verde" se han usado en el pasado como sinónimos. Sin embargo, los CC están caracterizados por sus funciones más amplias y multi-propósitos, las cuales incluyen la supresión de malezas, conservación de suelo y agua, control de plagas y enfermedades, alimentación humana y para el ganado (Pound, 1997).

Los CC pueden ser anuales (sembrados en el período que no es favorable para la producción de cultivos comerciales y que son destruidos antes de la siembra de estos) o coberturas vivas (que crecen al mismo tiempo que el cultivo comercial durante parte o toda su estación de crecimiento). Contribuyen al incremento de la diversidad específica, vertical, horizontal, estructural y temporal de los agroecosistemas (ver Capítulo 5) (Gliessman, 2001)

Aunque los CC pueden pertenecer a cualquier familia de plantas, la mayoría son leguminosas. Ejemplos de cultivos de cobertura no-leguminosos pueden ser avena negra (*Avena strigosa*), avena amarilla (*Avena byzantina*), *Raphanus sativus* var. *oleiferus* y el ryegrass italiano (*Lolium multiflorum*), los cuales son

usados como cultivos de cobertura invernales en el sur de Brasil para suprimir malezas y reducir la erosión en la estación previa a la siembra de maíz o soja (FAO, 1994).

Algunos importantes servicios ambientales proporcionados por el incremento de la diversidad biológica vegetal a través del uso de cultivos de cobertura incluyen la protección del suelo contra la erosión, la captura y la prevención de pérdidas de nutrientes del suelo, la fijación del nitrógeno por parte de las leguminosas, el incremento del carbono del suelo y mejoramientos asociados a sus características físicas y químicas, la disminución de la temperatura del suelo, el aumento de organismos benéficos y la supresión de las malezas y las plagas (Sustainable Agriculture Network, 1998).

Por ejemplo, Álvarez *et al.* (2005) encontraron que, en un suelo Hapludol típico del noreste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, la inclusión de cultivos de cobertura (*Avena sativa* y *Lolium multiflorum*) durante el período invernal previo al cultivo de verano incrementó el volumen de residuos aportados, mejorando el balance de carbono orgánico del suelo.

Por su parte Álvarez *et al.* (2010) evaluaron, en 4 localidades de la región Pampeana Argentina (General Villegas, Pergamino, Marcos Juárez y 9 de Julio), los aportes sobre las propiedades edáficas (infiltración, densidad aparente, estabilidad de fragmentos, poros, agua útil a la siembra del cultivo de verano, materia orgánica total y su fracción mayor a 100 μ) de diferentes especies de gramíneas invernales (avena, centeno, y una combinación de avena centeno y ray grass) utilizadas como CC en sistemas de Siembra directa con alta frecuencia de soja. Ellos concluyen que la infiltración acumulada aumentó en promedio un 36% para todos los sitios. Los contenidos de materia orgánica total y su fracción mayor a 100 μ también presentaron un aumento promedio de 9,3% y 7,7% respectivamente. Asimismo, la estabilidad de fragmentos mejoró en todos los sitios. A pesar de las ventajas encontradas, estos autores advierten que, en los sitios con régimen subhúmedo, se observó un efecto negativo sobre la oferta hídrica para el cultivo de verano subsiguiente y, por lo tanto, sería necesario

evaluar estrategias de manejo de los cultivos de cobertura que puedan minimizar este efecto.

La inclusión de cultivos de cobertura en la rotación entre dos cultivos comerciales es un buen método preventivo que puede ser usado en una estrategia de supresión de malezas (ver Capítulo 11). Por ejemplo, Baigorria *et al.* (2012) evaluaron, en Marcos Juárez, la influencia de la inclusión como cultivo de cobertura de invierno y el posterior rolado del residuo del triticale (*Triticosecale* Wittmack), sobre la población de malezas de la soja y encontraron que tuvo efectos positivos en el control de malezas anuales gramíneas y latifoliadas, mientras el efecto sobre las malezas perennes fue menos considerable.

La utilización de cultivos de cobertura forma parte también de las estrategias para el control ecológico de plagas (ver Capítulo 10) brindando refugio o fuente de alimento alternativo para los enemigos naturales. Altieri *et al.* (2007) encontraron, en un viñedo en el norte de California, que cuando los cultivos de cobertura de verano (alforfón o trigo sarraceno -*Fagopyrum sp.*- y girasol) se mantuvieron durante toda la temporada de crecimiento, aumentó la cantidad de enemigos naturales asociados y se redujo el número de cicadélidos de la uva y trips occidentales (*Frankliniella occidentalis*). Los depredadores dominantes incluyeron arácnidos, hemípteros (*Nabis sp.*, *Orius sp.*, *Geocoris sp.*), coccinélidos, y crisopa (*Chrysoperla sp.*)

Sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales (SAF) son una forma de uso de la tierra en donde especies leñosas perennes interactúan biológicamente en un área con cultivos y/o animales (López, 2007). Aunque la presencia de árboles aporta beneficios en todos los sistemas, la presencia de los mismos es particularmente importante en aquellos agroecosistemas en donde el árbol forma parte de la estructura del bioma original del lugar. Existen distintos tipos de sistemas agroforestales, según la naturaleza y presencia de los tres principales

componentes agroforestales: plantas leñosas perennes, cultivos agrícolas y pastizales:

- *Sistemas agrosilvícolas*: consisten en alternar árboles y cultivos anuales o perennes.
- *Sistemas silvopastoriles*: consisten en alternar árboles y pastizales para la producción animal
- *Sistemas agrosilvopastoriles*: Consisten en alternar árboles, cultivos y pastizales para sostener la producción animal.

La mezcla de árboles, cultivos y/o animales pueden tomar muchos modelos y formas, desde los surcos alternados de cultivos y árboles podados para cercos hasta animales pastando debajo de los árboles, lo que da lugar a diferentes sistemas: agricultura migratoria, sistemas Taungya, árboles en asociación con cultivos anuales, árboles en asociación con cultivos perennes, huertos caseros, asociación de árboles con pastos, pastoreo en plantaciones forestales y frutales, cercos vivos, cortinas rompevientos, entre otros (Palomeque Figueroa, 2006).

Más allá de las diferencias entre los distintos tipos de sistemas agroforestales se considera que éstos en general, son hábitats perturbados y manejados por el hombre que han demostrado tener un papel importante en la conservación de los suelos, clima, agua y diversidad biológica.

Entre sus ventajas se destacan: una mejor utilización del espacio vegetal, un microclima más moderado, una mayor protección contra la erosión hídrica y eólica, una mayor posibilidad de fijar nitrógeno atmosférico mediante árboles, contribución a la recuperación de suelos degradados, provisión de hábitats para alojar una mayor diversidad, reducción del daño por plagas y enfermedades, mantenimiento de la estructura y fertilidad del suelo (aportes de materia orgánica, mayor actividad biológica, reducción de la acidez, mayor extracción de nutrientes de los horizontes profundos del suelo).

El mejoramiento del suelo en los sistemas agroforestales está vinculado al crecimiento de los árboles fijadores de N o de árboles/arbustos de raíces profundas que aumentan la disponibilidad de los nutrientes a través de la fijación biológica, reciclaje de nutrientes desde capas profundas hacia la superficie del suelo (especialmente en zonas secas) y acumulación de materia orgánica en el suelo (Beer, 1988; Rao *et al.*, 1998). Al agregar plantas que exploran diferentes nichos ecológicos, se produce una “ampliación” de recursos como consecuencia de una extensión de los límites del agroecosistema por el aumento de la profundidad de exploración de las raíces y la altura de las plantas componentes del mismo.

Por ejemplo, Szott & Palm (1996) señalaron que los barbechos de árboles leguminosos incrementaron la cantidad del mantillo, los cationes intercambiables y el P disponible en el suelo (0-45 cm); y el total de las reservas de P, K, Ca y Mg en la biomasa en comparación con barbechos herbáceos leguminosos. Imbach *et al.* (1989), por su parte, sugirieron que los árboles en los SAF pueden reciclar los nutrientes previniendo su pérdida por lixiviación, reduciendo así la contaminación por nitratos u otras sustancias dañinas para el ambiente de las aguas subterráneas.

Los SAF proveen hábitat donde los componentes de la biodiversidad pueden vivir y reproducirse, por ejemplo, especies depredadoras que protegen a las plantas de cultivo contra brotes de plagas, o especies polinizadoras importantes para garantizar la cosecha de los cultivos. Numerosos estudios han señalado que la presencia de árboles en paisajes fragmentados o agropecuarios pueden ayudar a mantener una mayor proporción de la diversidad del ecosistema original (Daily *et al.*, 2001, Lang *et al.*, 2003, Harvey *et al.*, 2006, Tobar *et al.*, 2007).

En este sentido, es importante reconocer la importancia de la flora nativa como hospedera y refugio de enemigos naturales (producto de años de coevolución) comparada con especies exóticas. Klein *et al.* (2002) señalan que en sistemas de cacao en Indonesia, la transformación de los SAF tradicionales a sistemas intensificados tiene un elevado impacto en la estructura de la comunidad de artrópodos disminuyendo la relación predador-presa. Esta disminución está

relacionada con la reducción de la cantidad de especies arbóreas y el consecuente cambio en el microclima (incremento de la temperatura, disminución de la humedad y cobertura del canopy) y conduce a que los agricultores locales tengan más problemas de plagas que en los sistemas agroforestales tradicionales. Asimismo, la intensificación de los sistemas agroforestales tradicionales tuvo un impacto negativo en la presencia de organismos polinizadores, con la consecuente disminución en el rendimiento de frutos en cacao (Klein *et al.*, 2007)

Los SAF de altos rendimientos pueden jugar también un papel importante en el secuestro de C en suelos y en la biomasa leñosa (sobre y bajo suelo) (Beer *et al.*, 2003). Espinoza-Domínguez *et al.* (2012) encontraron que los sistemas agroforestales que incluyen al café y cedro rosado, almacenan 115 Mg C·ha⁻¹ mientras que los sistemas de “potrero” almacenan sólo 2 Mg C·ha⁻¹.

Estrategias para el aumento de la diversidad extra cultivo

Parches de vegetación, bordes, cercas y manejo de la vegetación espontánea

La manipulación de la biodiversidad puede hacerse a diferentes niveles: parcela, lote, predio o finca y, finalmente, paisaje y/o región. Este último nivel reviste enorme importancia para los procesos ecológicos en los agroecosistemas, aunque no siempre ha sido debidamente tenido en cuenta.

Una de las consecuencias más importantes del crecimiento de los agroecosistemas en el mundo ha sido la partición de los hábitats naturales y el consiguiente aislamiento de los parches remanentes, proceso que es conocido como fragmentación. Una de las principales consecuencias biológicas de la fragmentación es que los fragmentos o parches resultantes se comportan como “islas” incapaces de sustentar la misma cantidad de especies que contenían cuando estaban lindantes unos con otros.

Generalmente, los paisajes rurales son un mosaico de agroecosistemas de distintos tipos y de remanentes de los ecosistemas originales. Como consecuencia de la disminución de tamaño del ecosistema original, su fragmentación y el aislamiento, junto con las dinámicas de los agroecosistemas que las rodean, las comunidades bióticas que habitan en dichos remanentes, sufren grandes transformaciones (Perfecto *et al.*, 2009).

Por efecto de la fragmentación se altera el microclima dentro y alrededor del remanente, su aislamiento de los demás remanentes en el paisaje circundante y la modificación del régimen hidrológico por la alteración de un sinnúmero de componentes. La eliminación de la vegetación natural cambia las tasas de captación de agua de lluvia y la evapotranspiración, y en consecuencia, los niveles de humedad del suelo y la infiltración de agua a través del mismo. Todo ello tiene implicaciones profundas en la aparición de crecidas súbitas o de inundaciones en épocas de mayores lluvias y de sequías prolongadas en épocas de menores niveles de precipitación y afectan, vía cambios microclimáticos, a los agroecosistemas adyacentes (León Siccard, 2012).

Las áreas de cultivo están relacionadas con lo que algunos autores denominan “biodiversidad no planificada”, aunque esto no es estrictamente cierto, porque muchos agricultores deciden y planifican cuál será la vegetación espontánea, las flores, los cultivos de barrera, las plantas – trampa o los cultivos de distintos niveles que se relacionan con sus cultivos y con las zonas de manejo de animales que se dejan en el campo (León Siccard, 2010).

Dentro del paisaje rural, como en cualquier otro paisaje, se pueden distinguir tres componentes principales: una *matriz*, *parches* y *corredores* (Barnes, 1999) (Figura 13.2).

León Siccard (2012) define claramente estos componentes:

La *matriz* es el componente dominante del paisaje, el más extenso y conectado. La matriz dominante (que en muchos paisajes está representada por agroecosistemas) presenta una determinada densidad de parches (porosidad), formas definidas en sus límites, redes de relaciones y distintos niveles de heterogeneidad.

Los *parches* son áreas con una vegetación diferente a la de la matriz principal. Son unidades de tierra o hábitat muy heterogéneas cuando se comparan con la totalidad del paisaje. Pueden ser disturbados, remanentes, específicos (humedales) o introducidos.

Los *corredores* son franjas de tierra que vinculan a los parches entre sí y que funcionan como calles para la circulación y traslado de los organismos permitiendo su intercambio de parche a parche.

El tamaño de los parches y el aislamiento relativo de la matriz principal se relacionan con los equilibrios poblacionales y la diversidad de especies.

Si bien no hay acuerdo sobre cuán grande debería ser un parche, en general, se considera que cuanto más grande sean, mayor será su capacidad para soportar más especies y una mayor diversidad de hábitats, por lo que el equilibrio poblacional y la diversidad serán mayores.

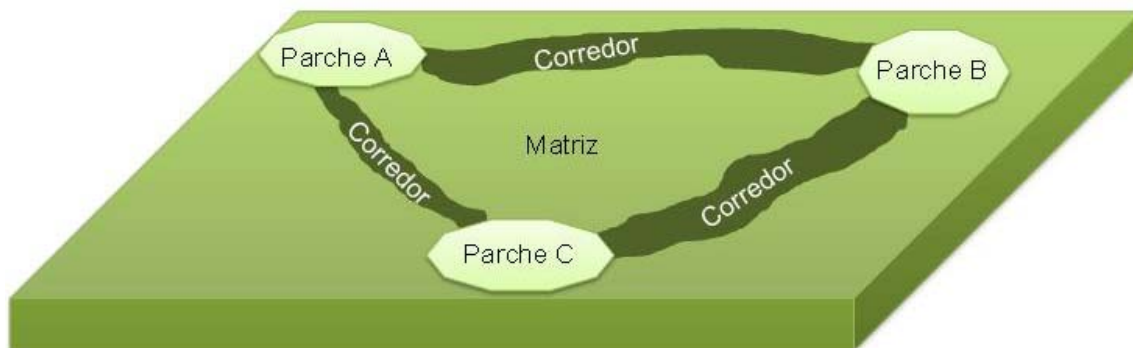


Figura 13.2: Componentes estructurales del paisaje: matriz, parches y corredores

Un aspecto importante es el rol que tienen los setos o cercas vivas como componentes de las fincas y sus enlaces con los corredores y franjas de vegetación natural (Burel, 1996). Las cercas vivas se definen como elementos lineales divisorios arbolados que separan áreas de pasturas, áreas de cultivos y algunos parches de bosques (Harvey *et al.*, 2005). Además de proveer productos (por ejemplo, leña, frutos o forraje para animales), las cercas vivas también

pueden brindar servicios dentro de la finca, como áreas que funcionan como hábitat para numerosos organismos, por su función en la regulación del microclima (prevención de heladas, disminución de la velocidad de los vientos, entre otros), en la reducción de escorrentía superficial y erosión de los suelos y como refugio de predadores.

Por ejemplo, Harvey *et al.* (2003), a partir de un inventario realizado en Costa Rica y Nicaragua, señalan que la presencia de cercas vivas aumentó en gran medida la cobertura arbórea, con las copas de los árboles cubriendo desde el 3,2 hasta el 12% del total del área de pastura de los paisajes estudiados y que las mismas fueron particularmente importantes para aumentar la conectividad estructural de los hábitats arbolados en el paisaje. En este estudio registraron la presencia de 170 especies de aves, murciélagos, escarabajos estercoleros y mariposas en las cercas vivas monitoreadas en dos de los paisajes.

Durr & Rangel (2002) por su parte, documentaron la importancia de las cercas vivas en la provisión de sombra y la protección contra el viento para la producción ganadera. Bennett (2003) señala que la promoción, extensión y/o mantenimiento de cercas vivas en zonas agrícolas pueden ser utilizadas para incrementar la conectividad de los paisajes agrícolas. Esto es sumamente importante dado que el aislamiento causado por la fragmentación de un ambiente limita el potencial de dispersión y colonización de plantas y animales, lo que puede generar un escenario adecuado para procesos de extinción local o regional (Wilson, 2004).

A la hora de instalar cercas vivas, es muy importante conocer la distancia mínima que debe existir entre ellas y los fragmentos de vegetación natural. Si bien se acepta que cuanto menor es la distancia mayor es la conexión entre los agroecosistemas y los ecosistemas naturales la misma depende de qué especies se pretenda conservar y/o de las funciones que quieran ser privilegiadas.

León Siccard (2012) señala que quizás un aspecto más interesante que definir una distancia mínima puede ser el establecer el grado de conexión entre el agroecosistema y la vegetación natural circundante. Este puede ir desde la completa desconexión (fincas de monocultivo totalmente desconectadas de

cualquier parche o remanente de vegetación) hasta fincas totalmente conectadas (Figura 13.3)

Además, es importante considerar la funcionalidad de las cercas para el manejo del agroecosistema por la presencia de plantas que ofrezcan diferentes servicios (polinización, trampas, alelopatías, refugio, alimento, efectos contra heladas, regulaciones de temperatura y humedad, disminución de escorrentía superficial, sombra). Una mayor funcionalidad estará dada por cercas altamente diversas que combinen varias hileras de vegetación natural con una fuerte estratificación y plantas con flores.

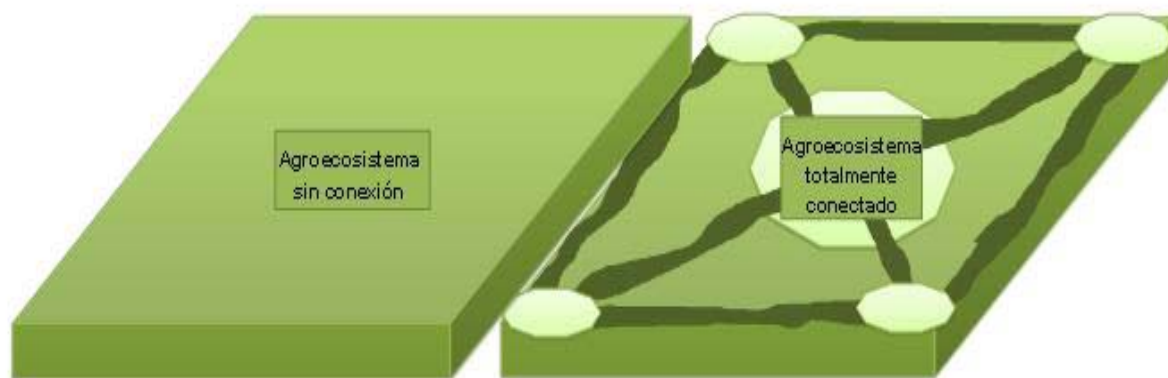


Figura 13.3: *Agroecosistemas con diferentes grados de conectividad*

Otro aspecto importante a tener en cuenta es la extensión que deben tener las hileras de vegetación interna que conectan a las distintas parcelas o lotes con las cercas externas. Aunque no hay una definición clara al respecto, es necesario contar con conectores internos en la finca, en una red suficientemente densa para los fines de producción, sanidad, estabilidad y renovabilidad de los agroecosistemas con características de biodiversidad semejantes a las de las cercas externas (León Siccard, 2012).

También es sumamente importante considerar el manejo de la vegetación espontánea, dado que aporta beneficios para la regulación de poblaciones de fitófagos (ver Capítulo 10), efectos alelopáticos, recirculación de nutrientes, conservación de humedad, barreras anti erosión, fuentes alimenticias y medicinales para humanos, mejoramiento de la estructura de suelos o relaciones con microorganismos edáficos a través de sus exudados, entre otros muchos efectos. En muchos casos, es posible mantener una cierta población de espontáneas en las parcelas de cultivo. En otras ocasiones, esto no es posible, ya sea porque el nivel de la población es tal que ejerce niveles de competencia inaceptables en términos económicos, o porque éstas interfieren en la cosecha (sobre todo cuando esta es mecánica), merman la calidad comercial del producto o desaparecen cuando se laboreo el suelo. Por ello es importante el mantenimiento de espontáneas o incluso la siembra y plantación de plantas seleccionadas para tal fin en los bordes o márgenes de los cultivos.

Está claro que para la selección de plantas a sembrar es necesario conocer sus habilidades para potenciar los servicios ecológicos que desean fomentar. Por ejemplo, la siembra de una colección de especies al azar tiene el riesgo de favorecer más a la plaga que a su entomófago (Alomar & Albajes, 2005). También es muy importante determinar el papel que pueden jugar las plantas seleccionadas como fuente de dispersión de enfermedades, principalmente virus, por ser reservorios o huéspedes importantes de sus vectores. Finalmente, es preferible evitar el uso de especies o variedades alóctonas menos adaptadas a las condiciones locales (Alomar & Albajes, 2005).

Conclusiones

El manejo de la biodiversidad en los agroecosistemas es un objetivo prioritario a la hora de diseñar sistemas sustentables.

A lo largo del Capítulo se han analizado diferentes estrategias para lograr este objetivo. Está claro que en la combinación de múltiples estrategias estará el éxito en el incremento de la biodiversidad.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que la selección de las mismas para su utilización en cada agroecosistema dependerá de las características del sistema de producción, de las particularidades del bioma original y de la posibilidad de adecuación de estas estrategias a las posibilidades y saberes de los agricultores y agricultoras.

Preguntas para el repaso y la reflexión

1. *¿Cuál es la importancia de las rotaciones de cultivos para incrementar la biodiversidad en los agroecosistemas?*
2. *¿Qué funciones ecológicas promueven las rotaciones? ¿Por qué considera que, a pesar de su bajo costo, no son aplicadas en forma más masiva?*
3. *¿Cuáles considera Ud. que son las limitaciones para el uso de rotaciones de cultivos?*
4. *¿Qué son los cultivos de cobertura y cuál es su rol en la promoción de la biodiversidad en los agroecosistemas?*
5. *¿Qué son los policultivos y qué ventajas se considera que pueden tener? Fundamentar cada ventaja.*
6. *¿Cuáles considera usted que son los impedimentos que conspiran contra una mayor difusión de los sistemas de policultivos? ¿Cuál cree Ud. que es la principal?*
7. *¿Cuáles son las dificultades de evaluar un sistema de policultivos? ¿Cómo puede compararse el comportamiento de un policultivo contra un monocultivo? ¿Qué es el LER o RYT? ¿Qué significa un LER de 1,5?*
8. *¿Cuáles son y en qué consisten los principios ecológicos que explican el mejor comportamiento de los policultivos? ¿Por qué es importante su conocimiento?*
9. *¿Cuáles son los principios o teoría ecológica que explica el mejor comportamiento de un policultivo ante la presencia de plagas?*
10. *¿De qué manera pueden influir un policultivo en la susceptibilidad ante las enfermedades?*
11. *¿Qué tipo de policultivo cree usted que sería interesante probar en su zona?*
12. *¿En qué condiciones o para qué sistemas productivos considera usted que sería interesante o viable el uso de policultivos?*
13. *¿Qué son los sistemas agroforestales y cuál puede ser su rol en el manejo de la biodiversidad?*
14. *¿Qué tipos de sistemas agroforestales conoce?*
15. *¿En qué condiciones es especialmente recomendada la inclusión de árboles en los agroecosistemas?*
16. *¿Cuáles son los principales factores a tener en cuenta para el manejo de la biodiversidad extracultivada?*

Bibliografía citada

- Altieri MA (1992) Diversidad vegetal y estabilidad en sistemas de cultivos múltiples. En: Altieri MA (Ed.) Biodiversidad, agroecología y manejo de plagas, pp. 41-53, CETAL Ediciones, Valparaíso, Chile, 1992.
- Altieri MA (1999) The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74:19-31.
- Altieri M, CI Nicholls (2000) Agroecología. Teoría y Práctica para una agricultura sustentable. PNUMA. México. 257pp.
- Altieri M, L Ponti & C Nicholls (2007) El manejo de las plagas a través de la diversificación de las plantas. LEISA. Revista de agroecología 24 (2). Disponible en: http://www.leisaal.org/web/revistaleisa/94vol22n4.html#El_manejo_de_las_plagas. Último acceso: febrero de 2014.
- Alvarez C, M Barraco, M Díaz Zorita, C Scianca & C Pecorari (2005) Uso de cultivos de cobertura en rotaciones con base soja: efecto sobre algunas propiedades edáficas y rendimiento de los cultivos en un Hapludol típico del noroeste bonaerense. *Boletín de divulgación técnica* N° 87.
- Alvarez C, C Scianca, M Barraco & M (2010) Cambios en suelos bajo siembra directa con cereales de invierno como cobertura. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. CD
- Arnon I (1972) Crop production in dry regions. Vol I. Leonhard Hill. London. 650pp.
- Baigorria T; C Cazorla, D Santos Sbuscio, B Aimetta & P Belluccini (2012) Efecto de triticale (×Triticosecale Wittman) rolado como cultivo de cobertura en la supresión de malezas, rendimiento y margen bruto de soja. Disponible en: <http://inta.gob.ar/documentos/efecto-de-triticale-xtriticosecale-wittman-rolado-como-cultivo-de-cobertura-en-la-supresion-de-malezas-rendimiento-y-margen-bruto-de-soja/>. Último acceso: febrero de 2014
- Barnes T (1999) Landscape ecology and ecosystems management. Cooperative Extension Service University of Kentucky College of Agriculture. Disponible en: www.uky.edu/ag/pubs/for/for76/for76.pdf. Último acceso: Noviembre de 2011.
- Barreyro RA, G Sánchez Vallduví, A Chamorro, N Tamagno & SJ Sarandón (2000) Rendimiento, índice de área foliar y cobertura del suelo de una mezcla de híbridos de girasol. XXIII Reunión Argentina de Fisiología Vegetal. Universidad Nacional de Río Cuarto. Del 29 de noviembre al 1 de diciembre de 2000. Actas, Pág. 76-77. Río Cuarto, Córdoba. Argentina.
- Beer J (1988) Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or cacao (*Theobroma cacao*) plantations with shade trees. *Agroforestry Systems* 7:103-114.
- Beer J, C Harvey, M Ibrahim; JM Harmand, E Somarriba, F Jiménez (2003) Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas* 10 (37-28): 80-87.
- Bennet AF (2003) Linkages in the landscape: The role of corridors and connectivity in wildlife conservation. IUCN. Gland, Suiza. 254pp.
- Berendse F (1979) Competition between plant populations with different rooting depths. I. Theoretical considerations. *Oecologia* (Berlin), 43:19-26.
- Borlaug NE (1959) The use of multilineal or composite varieties to control airborne epidemic diseases of self-pollinated crop plants. *Proceedings First International Wheat Genetics Symposium*, 12-26.
- Brandt JE, FH Hons & VA Haby (1989) Effects of subterranean clover interseeding on grain yield, yield components and nitrogen content of soft red winter wheat. *Journal of Production Agriculture* 2:347-351.

- Burel F (1996) Hedgerows and their role in agricultural landscapes. *Critical reviews in plant sciences* 15: 169-190.
- Daily GC & PR Ehrlich (1996) Nocturnality and species survival. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 93: 11709–11712.
- den Belder E, RI Valcheva & JA Guldeond (1999) Increased damage by western flower thrips *Frankliniella occidentalis* in chrysanthemum intercropped with subterranean clover. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 91:275-285.
- Durr PA & J Rangel (2002) Enhanced forage production under *Samanea saman* in a subhumid tropical grassland. *Agroforestry Systems* 54: 99–102
- Espinoza-Domínguez W, L Krishnamurthy, A Vázquez-Alarcón & Torres- Rivera, A (2012) Almacén de carbono en sistemas agroforestales con café. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México Vol 18 (1): 57-70*
- FAO (1994) Tropical Soybean: improvement and production. *FAO Plant Production and Protection Series No. 27.*
- Finckh MR & CC Mundt (1992) Stripe rust, yield and plant competition in wheat cultivar mixtures. *Phytopathology* 82: 905-913.
- Francis CA & MD Clegg (1990) Crop rotations in sustainable production systems. In C.A. Edwards et al (ed.) *Sustainable agricultural systems. Soil and Water Conserv. Soc. Ankeny, IA: p. 107–122.*
- Geisler G (1980) *Pflanzenbau - Ein Lehrbuch –Biologische Grundlagen und Techniken der Pflanzen Produktion.* Hamburg, Berlin. 474 pp.
- Giaccio G (2013) La Agroecología y su aporte a la conservación de los recursos naturales. INTA-Ministerio de Asuntos Agrarios (Chacra Experimental de Barrow). Disponible en: <http://www.produccion-animal.com.ar/sustentabilidad/63-agroecologia.pdf>. Último acceso: diciembre de 2013.
- Gliessman SR (2001) *Agroecología. Processos Ecológicos em Agricultura Sustentable.* Editora de Universidade. Universidad Federal do Rio Grande do Sul. Segunda Edición. 653 pp.
- Harper JL (1964) The nature and consequence of interference amongst plants. In: *Genetics today. Proceedings of the XI International Congress of Genetics (1964)* 2:465-482. Pergamon Press, N.Y.
- Harvey C, C Villanueva, J Villacis, M Chacón, D Muñoz, M López, M Ibrahim, R Gomez, R Taylor, J Martínez, A Navas, J Sáenz, D Sánchez, A Medina, S Vilchez, B Hernández, A Pérez, F Ruiz, F López, I Lang, S Kunth & FL Sinclair (2003) Contribución de las cercas vivas a la productividad e integridad ecológica de los paisajes agrícolas en América Central. *Agroforestería en las Américas* 10(39-40): 30-39
- Harvey CA, C Villanueva, V Villacís, M Chacón, D Muñoz, M López; M Ibrahim, R Gomez, R Taylor, J Martínez, A Navas, J Sáenz, D Sánchez, A Medina, S Vilchez, B Hernández, A Pérez, F Ruiz, F López, I Lang (2005). Contribution of live fences to the ecological integrity of agricultural landscapes in Central America. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 111:200-230.
- Harvey C, A Medina, D Sánchez, S Vilchez, B Hernández, J Sáenz, JM Maes, F Casanoves & FL Sinclair (2006) Patterns of Animal Diversity in Different Forms of Tree Cover in Agricultural Landscapes. *Ecol. Appl.* 16: 19-86.
- INTA informa (2011) Los suelos producen cinco veces más con rotación de cultivos. Disponible en: <http://intainforma.inta.gov.ar/?p=6671>. Último acceso: febrero de 2014.
- Imbach AC, HW Fassbender, R Borel, J Beer & A Bonnemmann (1989) Modeling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and *Erythrina*

- poepigiana in Costa Rica; water balances, nutrient inputs and leaching. *Agroforestry Systems*, 8:267-287.
- Karleen DL, EC Berry, TS Colvin & RS Kanwar (1991) Twelve-year tillage and crop rotation effects on yield and soil chemical properties in northeast Iowa. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 22, 1985-2003.
- Karleen DL, GE Varvel, DG Bullock & RM Cruse (1994) Crop rotations for the 21st century. *Advances in Agronomy*. 53, 2-45.
- Klein AM, I Setteffan-Dewenter & T Tschardt (2002) Predator-prey ratios on cocoa along a land-use gradient in Indonesia. *Biodiversity and Conservation* 11: 683-693, 2002.
- Klein AM, B Vaissière, J Cane, I Setteffan-Dewenter, S Cunningham, C Kremen & T Tschardt (2007) *Proc. R. Soc. B* 7. Vol 274 (160): 303-313.
- Lang I, LH Gormley, CA Harvey & F.L. Sinclair (2003) Composición de la comunidad de aves en cercas vivas del Río Frío, Costa Rica. *Agroforestería Américas* 10: 86-92
- Lampkin N. (1990) Rotation design for organic systems. En: *Organic Farming*. Pub., Farming Press Book, United Kingdom: 125-160.
- Lattanzi A, J Arce, H Marelli & C Lorenzon (2006) Efecto de largo plazo de la siembra directa y de rotaciones de cultivos sobre los rendimientos, el carbono y nitrógeno orgánico, en un suelo Argiudol típico en Marcos Juárez. En: *Aportes de la Ciencia y la Tecnología al Manejo Productivo y Sustentable de los Suelos del Cono Sur* Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur Argentina - Bolivia - Brasil - Chile - Paraguay - Uruguay. Díaz Rossello R & Catalina Rava (eds). IICA Montevideo: 39-56.
- León Siccard T (2010) Agroecología: desafíos de una ciencia ambiental en construcción En: *Vertientes del pensamiento agroecológico: fundamentos y aplicaciones*. León Siccard T y MA Altieri. Eds: 53-77.
- León Siccard T (2012) Agroecología: la ciencia de los agroecosistemas – la perspectiva ambiental. Universidad Nacional de Colombia – Instituto de Estudios Ambientales. 261 pp.
- Liebman M & E Dyck (1993) Crop rotation and intercropping strategies for weed management. *Ecological*.
- López TG (2007) Los sistemas agroforestales. López TG 2007. *Sistemas agroforestales* 8. SAGARPA. Subsecretaría de Desarrollo. Colegio de Post-graduados. Puebla. México. 8 pp.
- Martinuk S & GH Wagener (1978) Quantitative and Qualitative examination of Soil Microbial associated with Different Management Systems. *Soil Sci.* 125:343-350.
- Palomeque Figueroa E (2009) *Sistemas agroforestales*. Huehuetán, Chiapas, México. 29 pp. Disponible en: <http://www.google.com.ar/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&ved=0CD0QFjAG&url=http%3A%2F%2Fwww.monografias.com%2Ftrabajos-pdf%2Fsistemas-agroforestales%2Fsistemas-agroforestales.pdf&ei=2L78UqfrKsrH0AGI64CQAO&usq=AFQjCNE6M0vxqdew9wcNwsu2oUj asL7jrQ&bvm=bv.61190604,d.dmQ>. Último acceso: febrero de 2014.
- Perfecto I, J Vandermeer & A Wright (2009) Nature's matrix: linking agriculture, conservation and food sovereignty. Earthscan, London. 233 pp.
- Potts MJ & N Gunadi (1991) The influence of intercropping with *Allium* on some insect populations in potato (*Solanum tuberosum*). *Annals of Applied Biology* 119:207-213.
- Pound R (1997) Cultivos de Cobertura para la Agricultura Sostenible en América. Conferencia electrónica de la FAO sobre "Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica".

- Disponible en: <http://www.fao.org/ag/aga/AGAP/frg/AGROFOR1/Pound7.htm>. Último acceso: febrero de 2014.
- Power A (1999) Linking ecological sustainability and world food needs. *Environment, Development and Sustainability* 1:185-196.
- Putnam DH & DL Allan (1992) Mechanisms for overyielding in a sunflower/mustard intercrop. *Agronomy Journal* 84(2): 188-195.
- Rao MR, PK Nair, & CK Ong (1998) Biophysical interactions in tropical agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 38: 3-50.
- Sampietro D (2013) Aleopatía: Concepto, características, metodología de estudio e importancia. Disponible en: http://www.google.com.ar/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=11&ved=0CF0QFjAK&url=http%3A%2F%2Fwww.uv.mx%2Fpersonal%2Ftcarmona%2Ffiles%2F2010%2F08%2FSampietro-.doc&ei=uXz6Up6SLunJsQSV6oHgAw&usg=AFQjCNEK5JbJVfh_mU8MYm2yxHKVqCWohQ&bvm=bv.61190604,d.cWc. Último acceso: diciembre de 2013.
- Sarandón SJ & R Sarandón (1995) Mixture of cultivars: plot field trial of an ecological alternative to improve production or quality of wheat (*Triticum aestivum* L). *Journal of Applied Ecology* 32: 288-294.
- Sarandón SJ & R Sarandón (1996) Aplicación del enfoque agroecológico en sistemas extensivos: estudio de un caso en Argentina. *Agroecología y Desarrollo*, CLADES (Chile) No 10, Noviembre 1996:34-38.
- Sarandón SJ & J Labrador Moreno (2002) El uso de policultivos en un agricultura sustentable. En "AGROECOLOGIA: El camino hacia una agricultura sustentable", SJ Sarandón (Editor), Ediciones Científicas Americanas, La Plata. Cap 10: 189-222.
- Sarandón SJ & A Chamorro (2003) Los policultivos en los sistemas de producción de granos. En "Producción de Cultivos de Granos: Bases funcionales para su manejo" Emilio H. Satorre; Roberto L. Benech Arnold; Gustavo A. Slafer; Elba B. de la Fuente; Daniel J. Miralles; María E. Otegui y Roxana Savin (Editores) Editorial Facultad de Agronomía, UBA, sección III, capítulo 15: 353-372.
- Singh MK, S Pasupalak, SK Pal, R Thakur & UN Verma (1995) Effect of fertilizer and plant density management on productivity and economics of maize (*Zea mays*) +blackgram (*Phaseolus mungo*) intercropping. *Indian Journal of Agricultural Science* 65:800-803.
- Soriano Niebla JJ & J González Gutierrez (2012) Biodiversidad cultivada y producción ecológica en el año internacional de la Diversidad Biológica. *Vida Rural* 10/2010 Disponible en: [http://www.researchgate.net/publication/257411043 Biodiversidad cultivada y produccion ecolgica en el ao internacional de la Diversidad Biologica](http://www.researchgate.net/publication/257411043_Biodiversidad_cultivada_y_produccion_ecologica_en_el_aio_internacional_de_la_Diversidad_Biolgica). Último acceso: febrero 2014
- Sustainable Agriculture Network (1998) Managing cover crops profitably. Second edition. Handbook Series Book 3. Beltsville, MD, Estados Unidos de América. 212pp.
- Studdert G & H Echeverría (2000) Crop rotation and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J* 64: 1496-1503
- Szott LT & CA Palm (1996) Nutrient stocks in managed and natural humid tropical fallows. *Plant and Soil* 186: 293-309.
- Tobar D, M Imbrahim & F Casasola (2007) Diversidad de mariposas diurnas en un paisaje agropecuario en la región Pacífica Central de Costa Rica. *Agroforestería Américas* 45: 58-65.
- Trenbath BR (1986) Resource use by intercrops. In: Multiple cropping systems. ChA Francis (Editor), Macmillan Publishing Company, New York, 57-81.
- Vandermeer J (1989) The ecology of intercropping. Cambridge University Press. Cambridge, New York, 237 pp.

- Venegas R (1990) La Transición: La búsqueda del cambio hacia sistemas sustentables de producción agropecuaria. CET Chile. Disponible en: <http://www.buenastareas.com/ensayos/Transicion-Ecologica/25361699.html>. Ultimo acceso: Febrero de 2014.
- West TD & DR Griffith (1992) Effect of strip intercropping corn and soybean on yield and profit. Journal of Production Agriculture 5(1): 107-110.
- Wilson MF (2004) Loss and habitat connectivity hinders pair formation and juvenile dispersal of chucao tapaculos in Chilean rainforest. Condor 106:166-171.

Parte 4

EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD DE AGROECOSISTEMAS. PRACTICAS ALTERNATIVAS DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

CAPÍTULO 14

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE AGROECOSISTEMAS: CONSTRUCCIÓN Y APLICACIÓN DE INDICADORES

Santiago J. Sarandón, Claudia C. Flores, Agustina Gargoloff y María Luz Blandi

Introducción

El logro de agroecosistemas sustentables es uno de los mayores desafíos que debe enfrentar la humanidad en las próximas décadas. Sin embargo, existe una gran dificultad para traducir los aspectos filosóficos e ideológicos de la sustentabilidad en la capacidad de tomar decisiones al respecto (Bejarano Avila, 1998).

La sustentabilidad es un concepto complejo en sí mismo porque pretende cumplir, en forma simultánea, con varios objetivos o dimensiones: productivas, ecológicas o ambientales, sociales, culturales, económicas y temporales. Es, entonces, un concepto multidimensional. Por lo tanto, su evaluación debe ser abordada con un enfoque holístico y sistémico, que se contrapone a la visión reduccionista que aún hoy prevalece en muchos agrónomos y científicos. Tal como lo señalan Kaufmann & Cleveland (1995), hace falta un abordaje multidisciplinario para medir un concepto interdisciplinario.

Es necesario aplicar metodologías y criterios de evaluación novedosos, que se traduzcan en un análisis más objetivo y cuantificable, que permita detectar los aspectos críticos que impiden el logro de la sustentabilidad de los sistemas agropecuarios, y, además, sugerir medidas correctivas para superar dichos puntos críticos. Varios autores han abordado la evaluación de la sustentabilidad, tanto en el ámbito regional, (Koning *et al.*, 1997, Winograd *et al.*, 1998, Sepúlveda *et al.*, 2002, Evia & Sarandón, 2002; Viglizzo *et al.*, 2003; Flores & Sarandón, 2006), como en el de finca (Izac & Swift, 1994; Gómez *et al.*, 1996, Bockstaller *et al.*, 1997, Lefroy *et al.*, 2000, Tellarini & Caporali 2000; Van der Werf & Petit, 2002; Pacini *et al.*, 2003; Flores & Sarandón, 2004;

Viglizzo *et al.*, 2006, Sarandón *et al.*, 2006 a y b, Flores *et al.*, 2007; Abbona *et al.*, 2007a), utilizando indicadores de sustentabilidad. Sin embargo, se coincide en que no existe un conjunto de indicadores universales que puedan ser utilizados para cualquier situación. Las diferencias existentes en la escala de trabajo (finca, región, etc.), el tipo de fincas, los objetivos deseados, la actividad productiva, las características de los agricultores, hacen imposible su generalización.

Por esta razón, se han sugerido marcos conceptuales para el desarrollo o construcción de indicadores. El FESLM (Smyth & Dumanski, 1995), por ejemplo, presenta una guía metodológica para la evaluación de sistemas de manejos sustentables de tierras. En el ámbito agronómico, Astier & Masera (1996) y Astier *et al.*, (2002) proponen el MESMIS (Metodología para la evaluación de la sustentabilidad mediante el uso de Indicadores) basándose en el FESLM, y de Camino & Muller (1993) sugieren una metodología para la construcción de indicadores de sustentabilidad. A pesar de estos interesantes aportes, aún quedan varios puntos para discutir y mucho por avanzar en las metodologías adecuadas para la construcción e interpretación de indicadores de sustentabilidad.

Este Capítulo pretende describir y analizar la metodología para la construcción y uso de indicadores de sustentabilidad, propuesta por Sarandón & Flores (2009), y analizar su alcances y limitaciones.

La metodología

La metodología está basada en la originalmente propuesta por Sarandón (1998, 2002a), y posteriores trabajos de Flores & Sarandón, (2004, 2006), Flores *et al.*, (2007), Sarandón *et al.*, (2006a y 2006b), Abbona *et al.*, (2007a).

Consiste en una serie de pasos (Tabla 14.1) que conducen, como producto final, a la obtención de un conjunto de indicadores adecuados para evaluar los puntos críticos a la sustentabilidad de los agroecosistemas. Se ha intentado que la misma sea sencilla y que permita, de manera rápida, fácil y de bajo costo, evaluar aquellos aspectos que comprometen el logro de la

sustentabilidad de los sistemas agrícolas.

1. Establecer el marco conceptual: Consensuar una definición de Agricultura sustentable y requisitos para su logro
2. Definir los objetivos de la evaluación (¿Por qué? ¿Para qué? ¿Para quién?)
3. Definir el nivel de análisis: finca, país, región, etc. Establecer los límites del sistema y una escala temporal adecuada.
4. Realizar un relevamiento inicial de datos (mapas, censos, informes).
5. Definir las dimensiones a evaluar: ecológica, económica, social, cultural. (coherente con la definición adoptada)
6. Definir las categorías de análisis (ejemplo: suelo) y los indicadores, derivados de los requisitos de sustentabilidad.
7. Estandarizar y ponderar los indicadores según la situación a analizar.
8. Evaluar la dificultad de su obtención, su confiabilidad y pertinencia. (¿son adecuados al objetivo perseguido?)
9. Preparar instrumentos adecuados para la recolección de los datos: encuestas, mediciones (equipo interdisciplinario).
10. Recoger los datos y calcular los indicadores.
11. Analizar los resultados: representación gráfica adecuada. Calcular índices. Gráficos.
12. Determinar los puntos críticos a la sustentabilidad.
13. Replantear los indicadores: evaluar su utilidad y proponer las modificaciones necesarias.

Tabla 14.1. *Pasos a seguir para la evaluación de la sustentabilidad (Sarandón & Flores, 2009, modificado)*

Los pasos metodológicos

Paso 1: Establecer y definir el marco conceptual de la sustentabilidad

Es un paso esencial para el éxito del trabajo. A diferencia de algunos otros tipos de indicadores, que brindan un modelo que permite tener una aproximación cierta al valor real, en el caso de la sustentabilidad, no existe un

valor real de referencia contra el cual testar o comprobar los resultados obtenidos. De ahí que la **coherencia interna** del proceso es esencial. Por ello, es necesario el desarrollo de lo que se denomina marco conceptual de la evaluación, entendido como el sistema de valores o ideas que define lo que es bueno o malo para la sustentabilidad, y del que se desprenden calificaciones positivas o negativas en relación a la misma (Imbach *et al.*, 1997).

Dentro del marco conceptual, se debe definir qué se entiende por Agricultura Sustentable y los requisitos que se considera que debe cumplir la misma. Esto es necesario dado que la sustentabilidad no es un término unívoco, y hay diferentes interpretaciones sobre su significado, alcances y dimensiones. Por lo tanto, existen numerosas definiciones del concepto de sustentabilidad que responden a las variadas disciplinas, percepciones y paradigmas de sus autores (Socorro Castro, 2001). Justamente, uno de los mayores problemas que surgen cuando se intenta evaluar la sustentabilidad, es la confusión respecto a qué es exactamente lo que se quiere evaluar (Sarandón, 2002a).

Otro aspecto a tener en cuenta en la construcción del marco conceptual es definir si se adhiere al concepto de sustentabilidad débil o fuerte (ver Capítulo 3) (Cabeza Gutiérrez, 1996; Harte, 1995; Gudynas, 2000). De esta elección dependen los indicadores elegidos y la posterior interpretación de los resultados.

Es importante definir también la escala temporal ya que ésta tiene que ver con las futuras generaciones, y, por lo tanto, es intrínseco a la sustentabilidad y no puede separarse de ella (Sarandón, 2002a).

Mientras más claros estén estos conceptos, más sencillo será obtener resultados y proponer las medidas de corrección adecuadas.

Paso 2: Definir los objetivos de la evaluación

Es otro paso trascendental. Del mismo depende la metodología a emplear y las características de los indicadores a desarrollar.

No existe una sola forma de encarar la evaluación de la sustentabilidad ya que ésta depende del objetivo o del tipo de pregunta que se busca responder. La definición de los objetivos de la evaluación constituye la esencia del proceso evaluativo y puede abordarse buscando la respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿Qué se va a evaluar?
- ¿Por qué se va a evaluar?
- ¿Para qué se va a evaluar?
- ¿Para quién? ¿Quién es el destinatario de la evaluación?

La definición de qué, por qué y para qué evaluar, es fundamental para lograr claridad en la elección del conjunto de indicadores a utilizar. Una de las principales dificultades surge al no tener claro qué es lo que se quiere evaluar: ¿es la sustentabilidad de la finca? ¿es la sustentabilidad del agricultor/a, o la sustentabilidad del modelo productivo que ese agricultor/a eligió para realizar, en ese lugar y con esas características socioculturales? La mayoría de las veces es esto último lo que interesa saber, pero no siempre está claro.

La definición de quién será el destinatario de la evaluación (el para quién) es importante para adaptar la metodología al requerimiento de los usuarios, de forma que los resultados sean lo más significativos posibles para ellos. No es lo mismo desarrollar un conjunto de indicadores para los científicos/as, que para una auto evaluación de los propios agricultores/as, o para los políticos/as. Tampoco serán los mismos indicadores si deseamos hacer una evaluación rápida que si disponemos de un tiempo más prolongado. Tampoco si vamos a ir una sola vez a la finca que si podemos hacerlo varias veces, por ejemplo, en diferentes épocas del año. La disponibilidad o no de instrumental también tiene una gran importancia en la definición del tipo de indicador más adecuado.

Un ejemplo puede observarse en el desarrollo de un conjunto de indicadores para evaluar la sustentabilidad del manejo de suelos (“el qué”) en la Provincia de La Pampa, Argentina (Sarandón *et al.*, 2006a). En este caso, el objetivo fue disponer de un conjunto de indicadores de fácil interpretación, para

un diagnóstico rápido y sencillo (el “para qué”), por parte de técnicos y productores (“para quién”). Esto clarificó sustancialmente la elección de la metodología de toma de datos y el tipo de indicadores seleccionados.

Paso 3: Definir y caracterizar el sistema a evaluar

El análisis puede realizarse en varios niveles: de finca o predio, en el ámbito regional o de cuenca. Para cada uno de estos niveles existirán indicadores y metodología apropiada. Lo que es sustentable a cierto nivel (finca) puede no serlo en otro (en el ámbito regional), y viceversa (Sarandón, 2002a). El tipo de indicadores elegido está influenciado fuertemente por esta decisión.

Como vimos anteriormente (Capítulo 4), es conveniente tener en cuenta, por lo menos, tres niveles jerárquicos (Hart, 1985): el sistema que nos interesa, el que está por encima o lo contiene y los subsistemas o componentes del mismo.

El análisis deberá ser planteado con un abordaje holístico y dentro de un enfoque sistémico, definiendo los límites del sistema, los componentes del mismo y sus niveles jerárquicos superior e inferior. En este caso es muy útil, y casi imprescindible, realizar un diagrama o esquema (modelo) del sistema a analizar (ver Capítulo 4). Este tipo de diagramas permite percibir y analizar las interrelaciones entre los componentes del sistema, distinguir las entradas y salidas (deseadas o no) del mismo y detectar las consecuencias de las acciones humanas sobre la sustentabilidad del sistema en estudio. En un trabajo de análisis de la sustentabilidad de sistemas de producción de vid en la costa del Río de La Plata en Argentina (Abbona *et al.*, 2006), la construcción de este modelo, permitió comprender, por un lado, la importancia del flujo de agua del río en la incorporación de sedimentos al sistema y, por el otro lado, el rol que la práctica de los agricultores (limpiar los canales de agua y volcar esta materia orgánica sobre las vides) tenía en el mantenimiento de los nutrientes del sistema. De esta manera, se construyeron luego un conjunto de indicadores que permitieron demostrar la sustentabilidad ecológica del manejo de los

agricultores tradicionales de la zona (Abbona *et al.*, 2007b).

Paso 4: Relevamiento inicial de datos. Diagnóstico preliminar

Una vez establecidos los objetivos y el nivel de análisis, se procede a la recopilación y análisis de la información existente sobre los sistemas a evaluar: características de la zona geográfica, latitud, altitud, tipo de suelos, clima, vegetación y fauna predominante, tipologías de productores en la zona, aspectos socioculturales, etc. Esto puede basarse en el uso de mapas, cartas topográficas, censos, publicaciones, series históricas y todo otro dato (ecológico, económico y/o sociocultural) que se considere que puede aportar información preliminar sobre el objeto de estudio. Este diagnóstico inicial permite relevar la información que se utilizará como base para la selección del conjunto de indicadores a utilizar.

Los aspectos específicos a considerar en esta etapa de diagnóstico dependerán del nivel de análisis con el que se esté trabajando y del grado de información de que se disponga.

Paso 5: Definición de las dimensiones de análisis

Dada la característica multidimensional de la sustentabilidad, existe más de una dimensión de análisis (ecológica, económica, social, entre otras). Estas surgen de la definición de agricultura sustentable que se haya adoptado y de los requisitos que debe cumplir la misma (paso 1). En general, la mayoría de los autores proponen, al menos, tres dimensiones de evaluación: la ecológica, la económica y la social o socio-cultural. Por lo tanto, los indicadores deberán evaluar el grado de cumplimiento de cada uno de estos objetivos. Es decir, habrá indicadores ecológicos, económicos y socioculturales.

Paso 6: Definición de categorías de análisis, descriptores e indicadores

En función del marco conceptual adoptado, y para cada dimensión seleccionada, se deben definir diferentes niveles de evaluación. Estos niveles han sido denominados, de lo más general a lo particular, como categorías de análisis, descriptores e indicadores (de Camino & Müller, 1993; Torquebiau, 1992). Cuando los indicadores seleccionados así lo requieran, se pueden seleccionar niveles inferiores de evaluación a los que se propone denominar como subindicadores y variables.

Las categorías de análisis son un aspecto de un sistema, significativo desde el punto de vista de la sustentabilidad, mientras que los descriptores son características significativas de un elemento de acuerdo con los principales atributos de sostenibilidad de un sistema determinado (de Camino & Müller, 1993). Veremos un ejemplo más adelante pero, previamente, debemos discutir qué son los indicadores y las características que deben reunir.

La sustentabilidad es un concepto multidimensional. Es necesario “simplificar” para entender. El uso de indicadores es una estrategia adecuada para enfrentar este desafío

Definición y características de los indicadores: Un indicador es una variable, seleccionada y cuantificada que nos permite ver una tendencia que de otra forma no es fácilmente detectable (Sarandón, 2002a). Un ejemplo claro lo tenemos en el tablero de un automóvil: en un lugar visible los fabricantes han colocado un variado instrumental que brinda una valiosa información (indicadores) necesaria para manejar adecuadamente el sistema automóvil. Algunos de ellos brindan información sobre el estado actual (temperatura del motor, velocidad) y otros sobre tendencias futuras (nivel de combustible).

Tipo de Indicadores. Modelo presión-estado-respuesta: Un aspecto que es necesario definir es el tipo o clase de indicadores a utilizar. Esto se refiere al modelo de indicadores de *presión*, de *estado* o de *respuesta*.

Los indicadores de *estado* son los que aportan información sobre la

situación actual de sistema. Los indicadores de *presión* son aquellos relacionados al funcionamiento del sistema e indican el efecto que distintas prácticas de manejo ejercen sobre el sistema, sobre los indicadores de estado. Los indicadores de *respuesta* indican qué se está haciendo para modificar el estado actual del sistema. Por ejemplo, el % de materia orgánica del suelo puede considerarse un buen indicador de la calidad del suelo: es un típico indicador de estado: nos brinda información sobre un aspecto de la calidad del suelo en un momento dado. Nos dice cómo está hoy ese suelo, pero no nos dice si el manejo que ese agricultor/a está haciendo lo mejora o no. Puede darse el caso de un suelo que tenga aún un buen contenido de materia orgánica, pero que la ha estado perdiendo en los últimos 10 años por el mal manejo que ese agricultor/a realiza. Los indicadores de presión nos indican las acciones que pueden modificar esta variable, por ejemplo, la intensidad de laboreo del suelo o uso de implementos agresivos o calidad del rastrojo (restos vegetales dejados). Un excesivo laboreo del suelo, modificará (disminuirá) la materia orgánica del suelo.

Las variables de respuesta se refieren a qué es lo que se está haciendo para remediar este problema. Por ejemplo, cambio de la labranza convencional por el sistema de siembra directa o la incorporación de estiércol o de residuos vegetales.

No es conveniente mezclar indicadores de estado con indicadores de presión. Si uno desea evaluar la sustentabilidad del manejo de suelos, entonces se está refiriendo a indicadores de presión o manejo que inciden o tienen efecto sobre indicadores de estado que, para el caso, son las que se refieren a atributos de calidad del suelo.

Un aspecto importante a tener en cuenta, es que todos los indicadores deben desprenderse de alguno de los objetivos o categorías de análisis elegidos. No puede haber ningún indicador que no cumpla esta condición. Es decir, no puede haber indicadores “sueltos”. Por otro lado, ninguna de las dimensiones o condiciones de sustentabilidad debe quedar sin un indicador que la cuantifique o evalúe.

Todos los indicadores deben desprenderse de alguno de los objetivos o categorías de análisis elegidos. No puede haber indicadores “sueltos”.

¿Cómo construir un indicador? Veamos un ejemplo del procedimiento para construir un indicador, derivándolo del marco conceptual y sus requisitos (Tabla 14.2). Primero definimos el marco conceptual de la sustentabilidad: aceptemos como definición de agricultura sustentable a aquella que *“permite mantener en el tiempo un flujo de bienes y servicios que satisfagan las necesidades socioeconómicas y culturales de la población, dentro de los límites biofísicos que establece el correcto funcionamiento de los sistemas naturales (agroecosistemas) que lo soportan”* (Sarandón et al., 2006b). Coincide con el criterio de la sustentabilidad fuerte, que considera que el capital natural puede ser sustituido por capital manufacturado, sólo en algunos casos muy puntuales (Harte, 1995).

De esta definición podemos deducir que *“un sistema será sustentable si es económicamente viable, ecológicamente adecuado y cultural y socialmente aceptable”*. Por lo tanto, tendremos 3 dimensiones (u objetivos) a evaluar: económica, ecológica y socio cultural (4 si separamos lo cultural de lo social). Elegimos, por ejemplo, el objetivo o **dimensión ecológica**, lo justificamos y explicamos: *“Un sistema será sustentable (ecológicamente) si conserva o mejora la base de los recursos intra y extraprediales”*. Ahora deberemos definir cuáles son los recursos que hay que conservar. Por ejemplo, suelo, agua, biodiversidad, atmósfera y otros recursos no renovables: energía fósil. Son las categorías de análisis.

Elegimos una de las categorías de análisis, por ejemplo, el suelo. La siguiente pregunta es ¿qué propiedades o características se deben mantener de este recurso? Debemos mantener su calidad (o propiedades) en el tiempo, lo que podría sintetizarse en propiedades físicas, químicas y biológicas. Cada una de esas propiedades puede ser considerada un descriptor de la categoría.

Ahora avanzamos y elegimos una propiedad. Por ejemplo, entre las propiedades químicas, una importante es la dotación o contenido de nutrientes

ya que le confiere, en parte, su fertilidad y se traduce en un buen crecimiento de los cultivos. La conservación de la dotación de nutrientes es, por lo tanto, un requisito para el cual debemos desarrollar un indicador. Si hemos decidido escoger indicadores de presión nos interesa saber qué variable nos dice si en ese establecimiento se está conservando la dotación de nutrientes de los suelos. Un indicador para medir esto es el *Balance de nutrientes* (ver Capítulo 8). Elegimos uno de ellos, por ejemplo, el fósforo, El indicador es entonces: $kg\ P.\ ha^{-1}\ por\ año$. Como indicador, ya tiene unidades.

Definición de A. sustentable

Requisito de la A. sustentable elegida: ser ecológicamente adecuado

Dimensión u objetivo: Ecológico.

¿Qué quiere decir? Que preserve los recursos naturales (intra y extraprediales)

Recurso (Categoría de análisis): Suelo:

¿Qué aspecto del suelo debo preservar? Su calidad o atributos.

Atributos: físicos, químicos y biológicos.

Químicos: Mantenimiento de la “dotación” de nutrientes.

Balance de nutrientes (N,P,K). Diferencia entre lo extraído en la cosecha y lo suministrado.

Nutriente elegido: fósforo. **Indicador:** $.Kg\ P.\ ha^{-1}\ x\ año$.

Tabla. 14.2: Ejemplo del desarrollo de un indicador de sustentabilidad, para medir un aspecto de la dimensión ecológica

De esta manera, hemos llegado al indicador, que ha sido deducido de la definición de sustentabilidad adoptada y de sus requisitos. Es un gran paso, aunque aún tenemos varias dificultades que vencer, las que serán analizadas más adelante. Si los indicadores no logran derivarse mediante este proceso lógico, se puede incurrir en el error de obtener “indicadores” que constituyen una serie inconexa de datos o variables a medir, sin un orden o motivo claro. Y esto dificulta enormemente la interpretación correcta de los resultados.

Características de los indicadores: A pesar de que existe una gran variabilidad en el tipo de indicadores, se pueden sintetizar algunas características que estos deberían reunir (Tabla 14.3).

✓	Estar estrechamente relacionados con (o derivado de) algunos de los requisitos de la sustentabilidad.
✓	Ser adecuados al objetivo perseguido.
✓	Ser sensibles a un amplio rango de condiciones y a los cambios en el tiempo.
✓	Presentar poca variabilidad natural durante el período de muestreo.
✓	Tener habilidad predictiva.
✓	Ser directos: a mayor valor más sustentables.
✓	Ser expresados en unidades equivalentes. Mediante transformaciones apropiadas. Escalas cualitativas.
✓	Ser de fácil recolección y uso y confiables.
✓	No ser sesgados (ser independientes del observador o recolector)
✓	Ser sencillos de interpretar y no ambiguos.
✓	Brindar la posibilidad de determinar valores umbrales.
✓	Ser robustos e integradores (brindar y sintetizar buena información).
✓	De características universales pero adaptados a cada condición en particular.

Tabla 14.3: Algunas características deseables que debe reunir los indicadores de sustentabilidad (de Sarandón 2002a, modificado)

Además de las dos primeras (ya analizadas), los indicadores deben ser sensibles a un amplio rango de condiciones y a los cambios en el tiempo. Por ejemplo, la textura del suelo, aunque importante, no es un buen indicador, pues generalmente no presenta variaciones en el tiempo. La estructura, o la materia orgánica, en cambio, sí resultan buenos indicadores, porque se modifican en un plazo relativamente corto con diferentes prácticas de manejo. Por otro lado, los indicadores no deben tener gran variabilidad natural durante período de análisis como podría ser el caso de la humedad del suelo o el nivel de nitratos. Son demasiado variables en el corto plazo.

Una característica siempre deseable es que los indicadores sean de fácil recolección y uso, aunque esto no siempre es posible. Otro aspecto importante a tener en cuenta es la independencia del observador en la determinación del

valor del indicador. Hay que evitar utilizar indicadores fáciles y rápidos de obtener, pero demasiado ambiguos: por ejemplo: alto o bajo rendimiento, buena o mala rentabilidad, alta o baja densidad de malezas, alta o baja biodiversidad. Lo que para un observador puede ser alto o bajo, para otro puede no serlo tanto. La interpretación de los mismos debe ser sencilla, para que nos indique rápidamente lo que está pasando. Por ejemplo, en algunos casos, algún índice biológico puede ser importante, pero su interpretación puede requerir un análisis complejo o la opinión de un experto. En el otro extremo, como ejemplo de indicador sencillo, tenemos la “huella ecológica” (Wackernagel & Yount, 1998) que traduce una serie compleja de cuentas y operaciones, en un valor de hectáreas por persona, que es muy fácil de interpretar. A mayor valor, mayor necesidad de superficie para suministrar los recursos y absorber los residuos que se generan.

Siempre que sea posible, es interesante y útil establecer valores umbrales. Esto es, definir un valor por debajo del cual la sustentabilidad del sistema evaluado se verá seriamente comprometida. Aunque no deja de tener cierto grado de subjetividad, constituye una gran ayuda para la interpretación de los resultados de su aplicación. Un ejemplo de aplicación de umbrales, puede encontrarse en los trabajos de Gómez *et al.*, (2006) y Sarandón *et al.*, (2006b).

Paso 7: Estandarización y ponderación de los indicadores

Estandarización (o sumando peras con manzanas): Debido a las múltiples dimensiones de la sustentabilidad, los indicadores se expresan en unidades diferentes, en función de la variable que se quiera cuantificar (ecológica, económica, sociocultural). Es decir, habrá indicadores que se expresen en unidades de longitud, de volumen, dosis, área, conteo de poblaciones, kg de fertilizantes, actitudes de los productores, ganancia económica, etc. Esto dificulta enormemente la interpretación de los resultados por lo cual es necesario realizar una síntesis. Como un indicador es algo que debe hacer perceptible un fenómeno o tendencia que de otra manera no sería detectada, la

claridad de la información que brinda es esencial y debe tenerse en cuenta en su construcción y cuantificación.

Existen varias formas de lograr superar este inconveniente. La propuesta que hacemos es la construcción de escalas sencillas, por ejemplo de 0 a 4, siendo 0 la categoría menos sustentable y 4 la más sustentable. Independientemente de las unidades en que se hayan obtenido originalmente, los valores de cada indicador se expresarán en algún valor de la escala.

De esta manera, todos los indicadores serán directos: cuanto mayor valor tengan mayor será la sustentabilidad. Esto facilitará la comparación de diferentes sistemas productivos e incluso de sistemas similares de diferentes zonas. Una vez aceptada esta metodología surge la duda ¿de cuántos valores me conviene construir la escala? Una escala muy amplia (por ejemplo de 0 a 10) permitirá una mayor sensibilidad en el análisis de la sustentabilidad (sintonía fina), pero resulta sumamente difícil de construir (prácticamente imposible) y, a veces, puede incluso resultar forzado asignar valores coherentes para todas esas categorías. Una escala pequeña (por ejemplo de 0 a 2) resulta más sencilla de construir, pero puede resultar un poco burda para el objetivo que buscamos. En general, una escala con 4 o 5 valores es adecuada.

Veamos, como ejemplo, un indicador con 5 valores, de la conservación de la vida del suelo (extraído del Sarandón *et al.*, 2006b)

Conservación de la vida de suelo. Un sistema es sustentable si las prácticas mantienen o mejoran la vida en el suelo.

Manejo de la cobertura vegetal. La misma provee al suelo de una protección contra los agentes climáticos y disminuye el riesgo de erosión.

Indicador: Porcentaje de cobertura del suelo.

4): 100% de cobertura;

3): 75 a 99 %

2): 50 a 75 %

1): 25 a 50 %

0): < 25 %

El máximo valor representa la situación más favorable, desde el punto de vista ecológico, para mantener la calidad del recurso. En síntesis, la estandarización de los indicadores permite la integración de varios de ellos en índices que, muchas veces, hacen más robusta la información y permiten sintetizar mucha de ella en pocos y esenciales valores.

Ponderación de los indicadores (difícil pero inevitable): No todos los indicadores tienen el mismo valor o peso para la sustentabilidad. Lo mismo sucede con los indicadores del tablero de un automóvil. Hay algunos que, seguramente, serán más importantes que otros (independientemente del valor de la escala que tengan). Se debe decidir, entonces, la importancia relativa de los diferentes indicadores, subindicadores y variables que los componen: su ponderación. Esto es, en definitiva, un coeficiente por el cual se debe multiplicar, tanto el valor de los subindicadores y las variables que los forman, como los propios indicadores.

Imaginemos que evaluamos en una finca, 3 indicadores (A, B y C), que tienen que ver con la biodiversidad vegetal: representan la diversidad espacial (A), la diversidad vertical (B) y la temporal (C). Los valores obtenidos de estos indicadores, en una escala de 0 a 4 son: A: 2, B: 3 y C: 4. Ahora deseamos integrar estos 3 indicadores en un único valor para medir la biodiversidad vegetal general. ¿Cuál es este valor? Si los 3 son igualmente importantes, podemos promediarlos. En este caso, obtendríamos un valor $((2+3+4)/3) = 3$. Sin embargo, podemos considerar que la importancia relativa de los 3 indicadores no es igual, y que la diversidad espacial (indicador A), es mucho más importante que los otros dos (por ejemplo 3 veces más). El valor del indicador ahora no sería 3 (el promedio), sino $(2*3 + 3*1 + 4*1)/5 = 2,6$ donde, el primer término, en negrita, es el valor en la escala del indicador, el segundo (que lo multiplica) es su ponderación o peso, y el denominador, 5 es la suma de los valores de los factores de ponderación (en este caso: 3+1+1). El valor actual (2,6), es menor que el anterior (3) porque el indicador de mayor peso (A) es el que menor valor tenía de los tres.

El peso de cada indicador depende de la importancia que este tenga en el

funcionamiento del sistema en cuestión. Esto exige una clara comprensión del funcionamiento del sistema. Finalmente, el valor de la ponderación puede decidirse por consenso o por medio de la consulta con expertos en el tema tal como lo proponen Gayoso & Iroumé, (1991). Un criterio útil para ponderar es el de la reversibilidad, es decir la posibilidad o dificultad de volver a la situación inicial; cuanto más difícil, más importante. Esto es especialmente útil cuando trabajamos con indicadores que miden distintos aspectos de deterioro ambiental. Según este criterio, la conservación de la vida del suelo será más importante que mantener la fertilidad química del mismo, ya que esta última puede reponerse por medio de fertilizantes, pero no es fácil reconstruir la vida del suelo una vez perdida. Lo mismo sucede con la biodiversidad. Es importante porque su pérdida o deterioro es, generalmente, irreversible.

Otro criterio que puede tenerse en cuenta es el de la dependencia. Por ejemplo, la conservación de la diversidad vegetal sería más importante que la diversidad de insectos, porque aquella es la base trófica de esta: si no hay diversidad vegetal no puede haber fauna.

Es importante reconocer un cierto grado de subjetividad en la ponderación de los indicadores ya que depende de la capacidad de entender la función de ese componente sobre la sustentabilidad del sistema en cuestión. Pero no resulta un impedimento importante cuando lo que deseamos hacer es una evaluación comparativa.

Cuando se trabaja con indicadores que deben ser usados por los agricultores/as, es fundamental que ellos participen en la ponderación de los mismos, reflejando sus valores y criterios sobre la importancia que cada uno de ellos tiene para el logro de sistemas sustentables. De esta manera, es mucho más probable que los propios agricultores/as se “apropien” de esta metodología, que si les entregamos una metodología hecha exclusivamente desde el punto de vista científico. Roming *et al.*, (1996) construyeron junto con los agricultores una cartilla sencilla para evaluar la calidad del manejo del suelo, donde se tuvo en cuenta la valoración que los propios agricultores hacían de las principales variables. En Vietnam, (Lefroy *et al.*, 2000), sometieron los indicadores desarrollados a la opinión de los agricultores,

quienes debían votar la importancia relativa de cada uno de ellos, como: muy importante, de mediana o de baja importancia. Lo mismo proponen Dalsgaard & Oficial (1997), para pequeños campesinos productores de arroz en Filipinas, donde la participación conjunta de agricultores e investigadores es considerada esencial. Incluso para estos autores, las categorías indígenas de clasificación de los recursos naturales cumplen un rol importante en el diseño de los muestreos y el monitoreo a campo.

Debe tenerse en cuenta que, para la ponderación y construcción de las escalas de estandarización, se deberán analizar también algunos otros atributos de los indicadores como la confiabilidad, importancia, pertinencia y dificultad de obtención. La confiabilidad de los indicadores brindará elementos de juicio para su correcta ponderación. Un indicador puede ser fácil de obtener pero poco confiable y otros, pueden ser más difíciles de medir pero confiables. Por otra parte, hay indicadores confiables y fáciles de obtener, pero poco importantes. En lo posible, deben elegirse los indicadores más fáciles de obtener, a igualdad de importancia y confiabilidad. Un dato a resaltar es que la importancia de los indicadores, es decir, el peso relativo de cada uno, debe establecerse antes de ir al campo y no después. Esto es fundamental: con la ponderación estamos señalando el rol que cumple ese indicador en la sustentabilidad del sistema a evaluar y esto es independiente de lo que encontremos en el campo.

Determinar el grado de importancia de los indicadores no es sencillo ya que requiere entender su aporte a la sustentabilidad. La correcta elección de los indicadores apropiados depende de la capacidad de comprensión del funcionamiento del sistema (Sarandón, 2002a).

Paso 8: Análisis de la coherencia de los indicadores con el objetivo planteado

Una vez construido el conjunto de indicadores, debe analizarse si la utilización de los mismos permite cumplimentar los objetivos definidos en el paso 2. Puede suceder que, una vez que hemos desarrollado los indicadores, nos demos cuenta que son demasiado complicados o difíciles de obtener,

requieren de una alta tecnología, lo que no es compatible con los objetivos buscados, por ejemplo, para pequeños productores. En este caso, deberán replantearse los mismos, retomando el método en el paso 6 (definición de categorías de análisis, descriptores e indicadores). En caso de cumplir con las condiciones, se puede seguir adelante con los próximos pasos.

Paso 9: Construcción o elección de los instrumentos o metodologías adecuadas

Este paso es de especial importancia cuando se quieren obtener datos derivados de preguntas a los agricultores o aspectos socioculturales (ver Anexo 14.1). En este caso, es importante la construcción y preparación de encuestas o entrevistas adecuadas. Un aspecto importante a tener en cuenta es el enfoque de género. En este punto, la integración de un equipo interdisciplinario que incluya sociólogos, geógrafos, o antropólogos, entre otros, puede ser muy importante.

Paso 10: Recoger los datos y calcular los indicadores

La información necesaria para la construcción de los indicadores es muy variada, depende de innumerables factores, disponibilidad de recursos, objetivos planteados, y de la escala temporal y espacial adoptada. Dicha información puede obtenerse mediante encuestas o entrevistas, por relevamiento de datos a campo y/o análisis de laboratorio, o por recopilación y análisis bibliográfico.

Paso 11: Análisis y presentación de los resultados

La idea de lograr la simplificación de la realidad compleja, exige que los resultados sean expresados de manera sencilla y clara. Una forma de hacer

esto es representándolos en un gráfico tipo tela de araña, radar, ameba o cometa, (Astier & Masera, 1996; Gómez *et al.*, 1996; Sarandón, 1998, 2002a; Bockstaller *et al.*, 1997 Flores & Sarandón, 2004; Sarandón *et al.*, 2006 a y b, Abbona *et al.*, 2007a). Es un gráfico sencillo de construir y visualmente muy ilustrativo (Figura 14.1), donde se representan los valores de los indicadores obtenidos y se comparan con una situación ideal. Permite detectar los puntos críticos de cada sistema, como la distancia entre la situación ideal y la actual (Sarandón, 2002a). Sintetiza numerosa información importante y permite una visión general, holística del problema. La figura 14.1, muestra un conjunto de indicadores que representan 2 fincas de pequeños agricultores en la Provincia de Misiones, Argentina (Sarandón *et al.*, 2006b). Se observan las diferencias entre ambas fincas con respecto al valor de sustentabilidad ideal (borde externo). La finca 5 tuvo un manejo más sustentable que la finca 1.

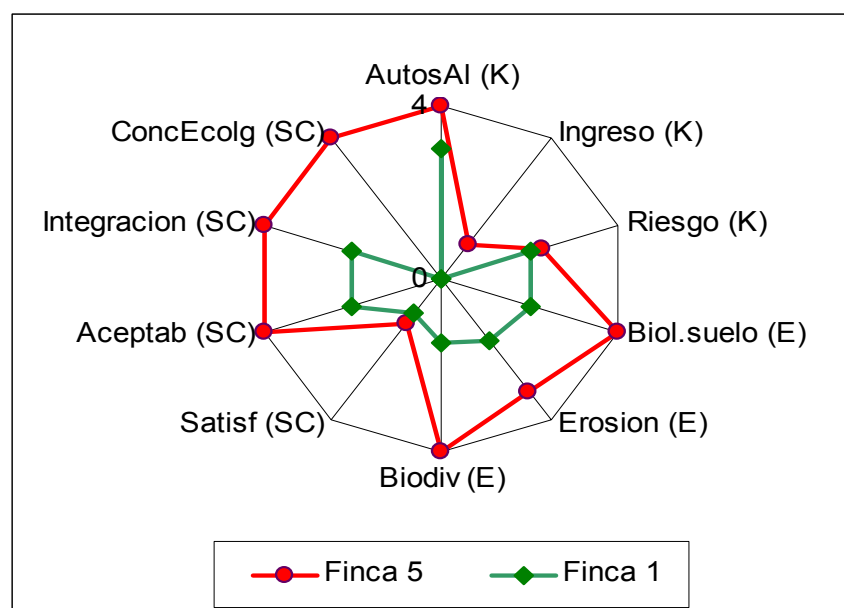


Figura 14.1: Representación gráfica en un diseño en tela de araña, de los indicadores de sustentabilidad en dos fincas de la provincia de Misiones, Argentina. Los límites exteriores representan el valor ideal de sustentabilidad y el intermedio el valor umbral. Línea punteada: finca 1, línea llena: finca 2. Entre paréntesis figura la dimensión de los indicadores: económicos (K), ecológicos (E) y socioculturales (SC). (Sarandón *et al.*, 2006b)

Aunque es muy ilustrativo, este método resulta poco adecuado cuando se quieren comparar varios establecimientos o sistemas. Por ejemplo, si queremos comparar 10 fincas, la superposición de tantas líneas lo haría poco

útil. En este caso, es necesario sintetizar aún más la información hasta obtener un solo valor o índice de sustentabilidad relacionando todos los indicadores entre sí, considerando la importancia relativa de cada uno de ellos (ponderación) o su contribución a la sustentabilidad, para construir un supra valor o índice de sustentabilidad (Sarandón, 2002a).

Este diseño también es muy adecuado para comparar un mismo sistema en el tiempo como en el trabajo de Flores *et al.*, (2006) (Figura 14.2). En el mismo se observa, en primer lugar la gran cantidad de indicadores desarrollados, lo que señala la potencialidad y flexibilidad de la metodología, de adecuarse a las necesidades de relevamiento de información. Se compararon dos momentos en una misma finca, la situación inicial (la línea interior en verde) y la situación final luego de un rediseño y trabajo con el enfoque agroecológico para la transición, (línea roja exterior). Se observan claramente las mejoras y los puntos que aun necesitan mejorarse.

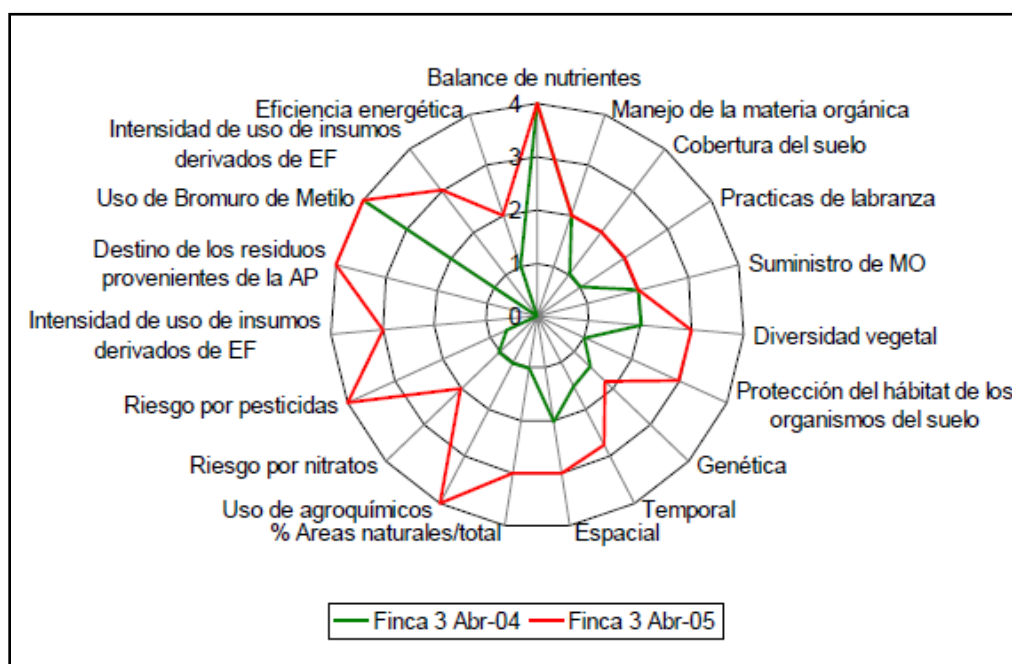


Figura 14.2: Diagrama en tela de araña representando los cambios en los indicadores ecológicos entre el inicio la finalización del primer año del proceso de transición en una finca hortícola en la región de La Plata, Argentina (Flores *et al.*, 2006)

Otro ejemplo de sensibilidad de esta metodología y de las posibilidades de uso del gráfico, se puede observar en el análisis de la sustentabilidad del

modelo de invernáculo en establecimientos hortícolas en la región hortícola de La Plata (Blandi *et al.*, 2009) (Figura 14.3.). Para ello se desarrollaron una gran cantidad de indicadores pertenecientes a diferentes dimensiones. Se observó que, a pesar de ser 3 fincas diferentes, fueron muy parecidas en los aspectos positivos y negativos de la sustentabilidad. Se percibe claramente que la adopción de la tecnología del invernáculo, se tradujo en muchos puntos críticos en el área ecológica, indicando que es un modelo insustentable del punto de vista ecológico, pero económicamente rentable y por eso se ha expandido. Lo otro que se ve es que, a pesar que las fincas son diferentes, la adopción del modelo está basada en un paquete tecnológico que tiende a uniformarlos. Como se ve, la metodología propuesta significa un gran avance en la capacidad de diagnóstico de la sustentabilidad de diferentes sistemas de producción o modelos de agricultura.

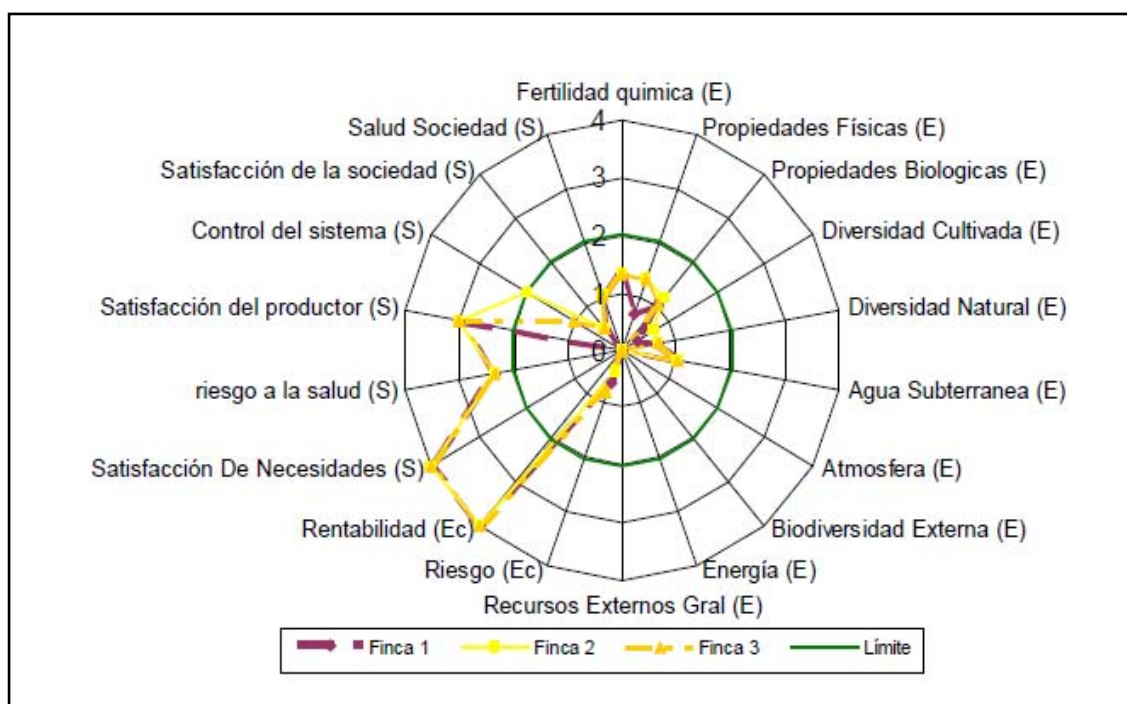


Figura 14.3: Diagrama en tela de araña representando los indicadores ecológicos (E), económicos (Ec) y sociales (S) de 3 fincas hortícolas que producen bajo invernáculo del Partido de La Plata, Buenos Aires, Argentina. (Blandi *et al.*, 2009)

Paso 12: Determinación de los puntos críticos a la sustentabilidad

Este es el objetivo de la metodología y, por lo tanto, el resultado buscado. Si está bien hecho, el análisis de los indicadores permitirá detectar los puntos críticos del manejo del sistema que atentan o comprometen la sustentabilidad. Esto se aprecia como la diferencia entre el valor ideal y el valor real obtenido. Por otra parte, si los indicadores están bien contruidos, nos brindarán información valiosa acerca de las causas que originan estos problemas.

La definición de los principales puntos críticos permite prestar especial atención, en el futuro, al manejo de tales aspectos con el fin de promover el avance hacia la sustentabilidad. Luego del análisis de los puntos críticos de la sustentabilidad, es interesante replantearse si los indicadores elegidos (**paso 13**), o la metodología empleada, fue la correcta. Este paso puede ir ajustando la metodología al cumplimiento de los objetivos.

Si existen dudas acerca de los resultados, o si se considera que la metodología no estuvo adecuada a los objetivos, o que los resultados son muy diferentes de lo esperado, entonces conviene ir al paso 6 y comenzar de nuevo el desarrollo de indicadores. Si, por el contrario, los resultados son convincentes y racionales, se puede pasar al **paso 14 (Propuestas de corrección y/o monitoreo)**.

El objetivo de esta metodología es, por un lado, permitir una evaluación de la sustentabilidad, pero también facilitar las propuestas de medidas correctivas a realizar para mejorar, dentro de lo posible, los puntos críticos.

A partir del diagnóstico efectuado, se pueden proponer medidas correctivas y efectuar un monitoreo de las mismas en el tiempo. Para ello podrían elaborarse un conjunto de indicadores para este monitoreo, que permitan realizar un seguimiento de la evolución de aquellos aspectos detectados como críticos para la sustentabilidad del sistema analizado. Para ello, ahora con otros objetivos, se debe comenzar de nuevo la serie de pasos a partir del punto 2. En este sentido, el método MESMIS (Astier & Masera, 1996, Astier *et al.*, 2002), constituye también una buena metodología, para comparar la sustentabilidad de innovaciones de un sistema en el tiempo.

Evaluación de la dimensión sociocultural: un desafío

La metodología de construcción de indicadores ha demostrado ser muy útil para abordar objetivos ecológicos y económicos, que están bien fundamentados en la bibliografía especializada en el tema. Sin embargo, la sustentabilidad, como concepto multidimensional, incluye indefectiblemente aspectos u objetivos socioculturales que son igualmente importantes y, muchas veces, resultan fundamentales para entender ciertos modelos productivos. La metodología para la construcción de indicadores de sustentabilidad puede ser también adecuada para abordar estos problemas socioculturales complejos sin “desarmarlos” demasiado, manteniendo la visión holística que destaca la Agroecología.

Sin embargo, la complejidad de los aspectos vinculados a la cultura y la aceptación social, hace que su evaluación sea dificultosa y genera la necesidad de legitimar los indicadores construidos con la población implicada. Asimismo, el relevamiento de los datos requiere de metodologías específicas (Anexo 14.1).

La consulta a los actores involucrados es esencial dado que lo que es válido para una región puede no serlo para otra ya que estos aspectos tienen un fuerte componente local y subjetivo que debe ser tenido en cuenta. De esta manera, los indicadores pueden representar más fielmente a la población en estudio, sin perder sus características locales y/o temporales. Dado que los indicadores creados por investigadores/as evalúan importantes aspectos generales, que muchas veces, no son tenidos en cuenta por todos los agricultores/as, se plantea la necesidad de complementar las miradas académicas con la de los actores involucrados (Blandi *et al.*, 2013a). Un ejemplo de esto es el trabajo de Irisiti & Chiappe (2012) quienes validaron un conjunto de indicadores establecidos a nivel internacional, en una región particular de Uruguay. Realizaron entrevistas a los actores involucrados y encontraron que había aspectos importantes para dichos actores que no habían sido tenidos en cuenta en los indicadores construidos. Por su parte, Blandi *et al.* (2013a) encontraron resultados similares al legitimar indicadores

sociales con la opinión de horticultores del Cinturón Hortícola Platense (Argentina).

Anexo 14.1. Cómo relevar aspectos socioculturales

Los estudios orientados a abordar la multidimensionalidad de la sustentabilidad, deben abarcar distintos aspectos que hacen a la misma (ecológico, social, económico, político, entre otros). Cada uno de ellos tiene particularidades que requieren diferentes formas de relevamiento.

En aspectos como la cultura y aceptación social, lo adecuado es utilizar una entrevista en la que la persona se exprese libremente y pueda opinar sobre otros aspectos a abordar, y luego, en forma de encuesta, revalidar los indicadores seleccionados. La información obtenida por la entrevista se puede procesar para armar nuevos indicadores.

Cuando el estudio y los indicadores construidos contemplan cuestiones relacionadas a los conocimientos, creencias, motivaciones, entre otros, es conveniente tener en cuenta algunos aspectos. A diferencia del conocimiento científico, universal, el conocimiento ambiental local es específico, no sólo de la persona, sino también del lugar preciso donde ha sido producido. Difiere según las distintas comunidades de agricultores de acuerdo a sus características ambientales, técnicas y socioculturales. Todo conocimiento, sea o no de un agricultor, cobra sentido únicamente cuando esté precisamente situado en su relación concreta con el medio biofísico y social de donde está movilizado (Lave, 1988). El conocimiento local es entonces de “aquí” y “ahora” (Gargoloff *et al.*, inédito). Por lo expresado anteriormente, entrevistar a las personas en situaciones en que ese conocimiento es puesto en práctica puede ofrecer resultados más valiosos que en el caso de las entrevistas realizadas fuera del contexto de aplicación de ese conocimiento (Mello Amoroza & Viertler, 2010). Por ejemplo, si estamos trabajando con agricultores, el lugar de la entrevista debiera ser la misma finca donde tiene su producción. No solo eso, lo importante es recorrer la finca para que los conocimientos puedan ser expresados en el lugar donde estos se producen, en las parcelas de cultivo.

Otro tema fundamental es el lenguaje, la terminología empleada para designar las cosas. El lenguaje es ambiguo, ya que cada sujeto interpreta la comunicación, hablada o escrita, desde su propia experiencia personal y punto de vista (García Ferrando, 1992). Por esto es fundamental prestar especial atención a la terminología específica que emplea el informante y el sentido que cobra cada término en el sistema de pensamiento local. Una de las principales dificultades en documentar fielmente el conocimiento ambiental local es comprender el significado de los términos que el entrevistado emplea. Existe una presunción, muchas veces equivocada, de que el uso de algunas palabras tiene el mismo significado para el entrevistado y el investigador. Por ejemplo, si entrevistamos a un agricultor cada palabra que designa unidades de espacio, tipos de vegetación, acciones, momentos del año, etc. que ayuda a describir la acción a ser analizada debe ser considerada como un concepto genuino y el investigador debe esforzarse por entender su significado. En este sentido, realizar un glosario es útil para aprender las categorías locales que las personas le asignan a las cosas (unidades de manejo, insectos, plantas, enfermedades, etc.) y los significados de esas categorías. Debe buscarse en la entrevista que el agricultor utilice estas palabras en diferentes circunstancias para profundizar sus respuestas y que esto ayude a entender de manera completa su significado (Gargoloff *et al.*, inédito).

A continuación, presentamos dos ejemplos de aplicación de la metodología de construcción de indicadores, para el abordaje de conceptos

complejos que relacionan aspectos socioculturales con el manejo de los recursos naturales.

Caso 1: Evaluando la “racionalidad ecológica” de productores hortícolas en la Zona de La Plata, Argentina

El logro de una agricultura sustentable requiere un manejo que mantenga o mejore la calidad de los recursos naturales. Esto es realizado por los agricultores conforme a sus objetivos, valores, conocimientos y prácticas. En los sistemas de agricultura tradicional, la existencia de una racionalidad ecológica (RE) entendida como el conjunto de prácticas y saberes de los agricultores, ha permitido, en algunos casos, compatibilizar la productividad del agroecosistema con la conservación de las bases ecológicas del mismo (Gómez-Benito, 2001). En consecuencia, comprender la racionalidad ecológica de los agricultores podría contribuir a avanzar hacia una agricultura sustentable.

Sin embargo, no existe una metodología específica para abordar la RE. En parte, esto se debe a la propia complejidad de su significado: las características de la RE, difieren según los autores (Altieri, 1991; Toledo, 1992; Gómez Benito, 2001), y comprenden un conjunto de variables muy complejas que definen diferentes aspectos del entendimiento de los agricultores respecto a su entorno y su adecuación a él. Al igual que el concepto de sustentabilidad, la racionalidad ecológica es un concepto multidimensional.

El desafío fue mejorar la comprensión y evaluación de estos conceptos, manteniendo la riqueza de esta complejidad. Fue necesario entonces, transformar las variables de naturaleza compleja de la RE, en valores claros y sencillos de interpretar. Para ello se utilizó la metodología de indicadores analizada en este Capítulo.

Se estableció el Marco Conceptual definiendo a la **racionalidad ecológica** como el *conocimiento y la percepción que los agricultores poseen de los recursos naturales presentes en el agroecosistema (Saber) y su traducción en estrategias de producción adecuadas con la conservación de los recursos (Hacer)*. De acuerdo al concepto de racionalidad ecológica desarrollado, se definieron dos

dimensiones de análisis: “Saber” y “Hacer”. La dimensión “Saber” contempló el conocimiento de los agricultores sobre los recursos naturales y su capacidad de adaptación al medio ambiente. La dimensión “Hacer” contempló el posible impacto del manejo que realizan los agricultores sobre la conservación de esos recursos naturales.

Para analizar las relaciones entre el saber y el hacer se intentaron desarticular los componentes del conocimiento local, que en el pensamiento y conducta de los agricultores están inextricablemente unidos, siguiendo la idea de Barahona (1987): “desarmar para volver a armar” y, de este modo, aproximar la realidad a nuestras limitaciones de percepción y aprehensión.

Dentro de la dimensión “Saber” se contemplaron: a) el conocimiento y la percepción que los agricultores tienen acerca de diferentes características de los recursos suelo y biodiversidad, b) su percepción acerca del impacto que genera la actividad hortícola sobre los recursos naturales externos (agua y atmósfera) y, c) su capacidad de adaptación a los cambios del medio ambiente circundante.

Los indicadores de la dimensión “Hacer” buscaron evaluar el impacto del manejo productivo sobre la conservación de: a) los recursos naturales internos (suelo y biodiversidad) y b) externos al agroecosistema (agua y atmósfera). Se definieron categorías, descriptores indicadores y subindicadores (Paso 5). Los indicadores fueron contruidos y fundamentados teniendo en cuenta los atributos señalados por Toledo (1992), Altieri (1991) y Gómez- Benito (2001), para explicar la existencia de RE. A su vez, se reparó en la facilidad de obtención de los datos. Todos los indicadores fueron estandarizados en una escala de 0 a 3, siendo 0 el valor menos deseable y 3 el valor óptimo.

La metodología aplicada permitió “desarmar” el concepto de racionalidad ecológica y construir un conjunto de indicadores que permitieron analizar las diferencias en *el saber* y en *el hacer* de diferentes tipos de agricultores: empresariales o comerciales (C) familiares o pequeños productores (P) y orgánicos (O), en la región Hortícola de La Plata, Argentina (Tabla 14.4 y 14.5). Se observó una mayor racionalidad ecológica en los productores orgánicos (2,78) que en los familiares (2,35) y que en los comerciales (1,74). Esto confirma la existencia de una asociación entre la RE de los agricultores y su capacidad de

modificar el ambiente. A mayor capacidad de artificializar el ambiente, menor desarrollo de una “racionalidad ecológica” (Gargoloff *et al.*, 2007).

	C ₁	C ₂	P ₁	P ₂	O ₁	O ₂
Conservación de Recursos Internos*	1,46	1,46	2,15	2,00	2,50	2,40
<i>Suelo</i>	2,25	2,25	2,25	2,50	2,75	2,25
<i>Biodiversidad</i>	0,67	0,67	2,05	1,55	2,27	2,57
Conservación de Recursos Externos	0,50	2,00	2,00	2,00	2,75	3,00
<i>Cuerpos de agua</i>	1,00	1,00	1,00	1,00	2,50	3,00
<i>Atmósfera</i>	0,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Capacidad de Adaptación	3,00	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Resultado para cada agricultor	1.65	1.82	2.38	2.33	2.75	2.80
Resultado por tipo de agricultor	1,74		2,35		2,78	

Referencia: * Todos los ámbitos de evaluación y categorías de análisis recibieron igual ponderación.

Tabla 14.4: Evaluación del “Saber ecológico” en agricultores empresariales o comerciales (C) familiares o pequeños productores (P) y orgánicos (O), en la región Hortícola de La Plata, Argentina. El valor óptimo es 3 y el menos deseado el 0. (Gargoloff *et al.*, 2007)

	C ₁	C ₂	P ₁	P ₂	O ₁	O ₂
Conservación de Recursos Internos (2)	0,55	0,88	2,38	1,50	2,70	2,70
<i>Suelo (1)</i>	0,90	1,45	2,36	2,11	2,80	2,80
<i>Biodiversidad (1)</i>	0,20	0,30	2,50	1,00	2,60	2,65
Conservación de Recursos Externos (1)	0,50	2,16	1,66	1,66	3,00	3,00
<i>Cuerpos de agua (1)</i>	1,00	1,33	1,33	1,33	3,00	3,00
<i>Atmósfera (1)</i>	0,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Resultado para cada agricultor	0,53	1,30	2,14	1,55	2,80	2,80
Resultado por tipo de agricultor	0,92		1,85		2,80	

Referencia: () Factor de ponderación, correspondiente a cada ámbito de evaluación y categoría de análisis.

Tabla 14.5: Evaluación de la dimensión “Hacer ecológico” en agricultores empresariales o comerciales (C) familiares o pequeños productores (P) y orgánicos (O), en la región Hortícola de La Plata, Argentina. El valor óptimo es 3 y el menos deseado el 0. (Gargoloff *et al.*, 2007)

Caso 2: Evaluando la “conducta sustentable” en productores hortícolas en la Zona de La Plata, Argentina

En general, se ha considerado que uno de los principales impedimentos para avanzar hacia sistemas agrícolas más sustentables está dado por las limitaciones técnicas (IPAF, 2006). Sin embargo, la ausencia de avances significativos hacia modelos más sustentables, sugiere la existencia de otros impedimentos más allá de los técnicos. Se entiende que es el agricultor/a, mediante sus decisiones, quien modifica los ecosistemas naturales para transformarlos en agroecosistemas y elige el estilo productivo. Es el agricultor quien tiene, entonces, una conducta sustentable o no. Identificar las razones de esta conducta, constituye un objetivo muy interesante en la búsqueda de entender los impedimentos, y a la vez, diseñar estrategias para lograr la sustentabilidad de los agroecosistemas.

Dada la gran cantidad de factores que pueden influenciar la conducta de los agricultores, analizar las causas que impiden avanzar hacia una agricultura sustentable no es algo sencillo. Para poder evaluarlas y cuantificarlas, sin perder su complejidad, deben transformarse en valores claros y sencillos de interpretar. Para ello, se utilizó la metodología de indicadores.

Como primer paso, se estableció el Marco Conceptual, definiendo a la **conducta sustentable** como el conjunto de acciones que resultan en la preservación de los recursos naturales y, el bienestar individual y social de las generaciones humanas actuales y futuras (Corral Verdugo & Pinheiro, 2004). Esta conducta depende de factores internos y externos (Austin *et al.*, 1998). Se definieron dos dimensiones de análisis: “**factores internos**” y “**factores externos**”. La dimensión “factores internos” contempló variables propias de los individuos, y la dimensión “factores externos” aquellas variables del entorno del individuo y que influyen en su toma de decisiones.

Dentro de la dimensión “factores internos” se definieron dos categorías: a) la *actitud*, como el conjunto de creencias y motivaciones que la persona posee, en este caso, sobre la conducta sustentable y b) la *autoeficacia*, como la

creencia que la persona tiene sobre su propia capacidad de realizar con éxito determinada actividad (Bandura, 1977).

La *actitud*, se dividió en: a) *creencias (importancia de la creencia, tipo de creencia y conocimiento sustentable)* y b) *componente afectivo*. La *autoeficacia*, se dividió en: a) *conocimientos percibidos* y b) *habilidades percibidas*.

Entre los “factores externos” se consideró la influencia sobre la conducta sustentable que tienen: a) el asesoramiento técnico, b) el mercado, c) las políticas públicas (a través de los subsidios e incentivos) y d) la opinión de otros agricultores (o creencias normativas).

Para cada categoría, descriptor y subdescriptor se definieron indicadores, para evaluar las siguientes acciones, asociadas a una conducta sustentable: conservar el suelo; proteger la biodiversidad; conservar el agua; cuidar el aire/la atmósfera; lograr estabilidad económica; lograr eficiencia económica; lograr calidad de vida del agricultor; lograr autogestión y favorecer a la sociedad.

Los indicadores fueron estandarizados por medio de una escala de 0 a 1, que contó con 5 grados, donde el 1 fue el nivel máximo (más sustentable) y el 0 el menor (menos sustentable). Se tomó el valor de 0,5 como umbral mínimo para que un aspecto sea considerado crítico, es decir, que atenta contra la conducta sustentable del agricultor.

Se comparó la conducta sustentable de dos pequeños agricultores del Cinturón Hortícola Platense, Argentina: uno con cultivo al aire libre y el otro bajo invernáculo. Los indicadores permitieron observar una similitud en los factores internos que hacen a la conducta sustentable y una diferencia significativa en factores externos (Figura 14.4). Estos factores externos son los que estarían impidiendo una conducta más sustentable al agricultor que cultiva bajo invernáculo (*Blandi et al., 2013b*). Estos resultados demuestran el potencial que tiene la metodología para comparar agricultores y detectar diferencias que, a simple vista, son difíciles de percibir.

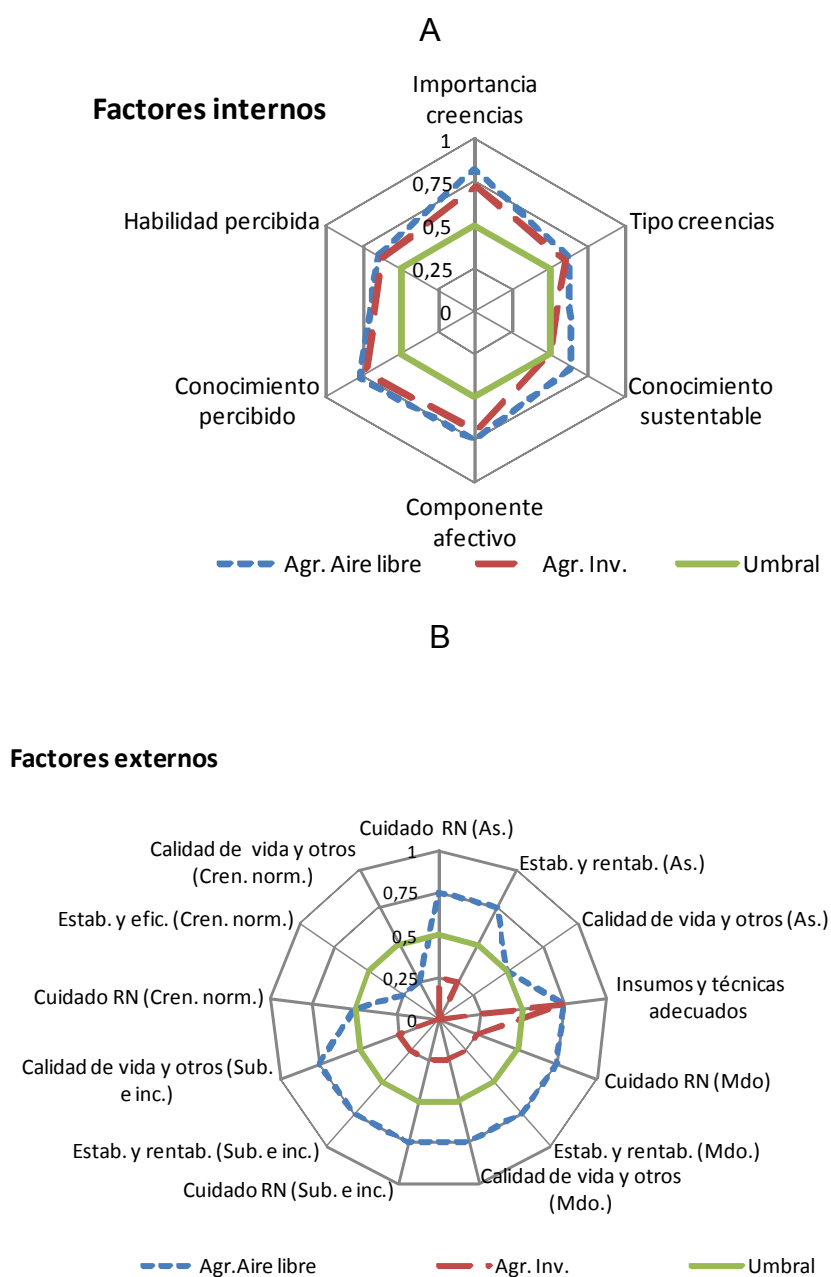


Figura 14.4. Representación gráfica de **A:** impedimentos internos y **B:** externos para una conducta sustentable en agricultores hortícolas que cultivan al aire libre (**Agr. Aire libre**) y bajo invernáculo (**Agr. Inv.**) en la zona de La Plata. La línea continua representa el valor umbral. Entre paréntesis figura el descriptor de los indicadores: As.: asesoramiento; Mdo.: mercado; Sub. e inc.: subsidios e incentivos; Creen. Norm.: creencia normativa. Agr. Aire libre: agricultor que cultiva al aire libre; Agr. Inv.: agricultor que cultiva bajo invernáculo (Blandi et al, 2013 b)

Alcances y limitaciones de la metodología propuesta

La metodología propuesta es relativamente sencilla y adecuada para evaluar los puntos críticos a la sustentabilidad del manejo de agroecosistemas. Cumple con el objetivo de transformar aspectos complejos, en valores claros, sencillos, objetivos y generales que permiten evaluar el impacto que diferentes prácticas de manejo tienen sobre la sustentabilidad de diferentes agroecosistemas. Esto es posible, siempre y cuando los indicadores sean deducidos correctamente de la definición de sustentabilidad y de sus requisitos. Es muy flexible y puede usarse a cualquier nivel de análisis y con cualquier tipo de agroecosistema y tipo de agricultura. Tampoco tiene limitaciones respecto a las características de los agricultores.

La estandarización (muy sencilla) y la ponderación, permiten trabajar con valores comparables entre sí, e integrar y sintetizar los indicadores en otros más robustos o en un índice general. Este es, tal vez, uno de los puntos más fuertes de esta metodología.

La representación gráfica de tipo radar, permite una apreciación global de los principales problemas que se presentan, es muy fácil de interpretar e independiente del observador.

Sin embargo, la metodología presenta una serie de limitaciones que deben ser tenidas en cuenta. En primer lugar, si bien los pasos metodológicos tienen carácter universal y pueden ser utilizados para la evaluación de cualquier sistema de producción, y para cualquier escala de análisis, los indicadores no son universales. Los indicadores deben ser desarrollados para la evaluación de determinadas prácticas de manejo en un determinado sistema, de una región dada. No hay un conjunto de indicadores preestablecidos, listos para usar. Lo que es válido para una región o problema, puede no serlo para otra.

Una segunda limitación es que los resultados alcanzados sólo serán coherentes con los objetivos de sustentabilidad planteados y, por lo tanto, con los indicadores escogidos para medir el cumplimiento de dichos objetivos. Si el marco conceptual es diferente, o los objetivos perseguidos son otros, la

metodología deberá ser readecuada en función de los nuevos objetivos.

La etapa de estandarización y ponderación, aunque facilita enormemente el análisis, tiene un alto componente de subjetividad. Sin embargo, esta puede disminuir cuanto mayor sea la información sobre el rol que cada componente tenga sobre la sustentabilidad del sistema en cuestión (Sarandón, 2002a). En este sentido, el desarrollo de indicadores puede detectar falencias relacionadas con la falta de información científica, lagunas en la información existente o baja calidad en la información disponible.

Por último, está claro que esta metodología de análisis hace hincapié o está basada en un abordaje holístico de la problemática. Esto no significa que el análisis deba restringirse, necesariamente, sólo a las apreciaciones generales del problema. La profundización de aquellos aspectos que *a priori*, aparezcan como críticos, es un paso sucesivo que puede continuarse o emprenderse con la profundidad y nivel de análisis que se desee. Lo que la metodología permite es clarificar cuales son, justamente, aquellos aspectos que merecen un análisis más detallado.

Preguntas para el repaso y la reflexión

1. *¿Cuáles son las principales dificultades para evaluar la sustentabilidad del manejo de agroecosistemas?*
2. *¿Qué quiere decir que la sustentabilidad es un concepto multidimensional? ¿Cuáles son las principales dimensiones a evaluar?*
3. *¿Qué es un indicador y por qué es necesaria su construcción para evaluar la sustentabilidad?*
4. *¿Qué son los indicadores de presión- estado-respuesta y cuál es su utilidad?*
5. *Esquematice los pasos sugeridos para construir indicadores para evaluar la sustentabilidad del manejo de agroecosistemas*
6. *¿Qué características debe reunir un indicador?*
7. *¿Qué se entiende por la estandarización y la ponderación? ¿Qué criterios pueden seguirse para decidir el peso relativo de un indicador?*
8. *¿Qué ventajas y desventajas tiene el gráfico de radar o tela de araña para representar los resultados de la evaluación de la sustentabilidad?*
9. *¿Cuál es la importancia y cuáles son los principales desafíos para evaluar la dimensión sociocultural de la sustentabilidad?*

Bibliografía Citada

- Abbona E, SJ Sarandón & ME Marasas (2006) Aplicación del enfoque sistémico para la comparación de dos agroecosistemas (viñedos) en Berisso, Argentina, *Revista Brasileira de Agroecología*, Vol 1 (1): 1433-1436.
- Abbona EA, SJ Sarandón, ME Marasas & M Astier (2007a) Ecological sustainability evaluation of traditional management in different vineyard systems in Berisso, Argentina. *Agriculture, Ecosystems and Environment* Vol 119 (3-4): 335-345.
- Abbona EA, SJ Sarandón & MM Marasas (2007b) Los viñateros de Berisso y el manejo ecológico de los nutrientes. *LEISA* 22-4. Marzo de 2007: 13-15.
- Altieri MA (1991) ¿Por qué estudiar la agricultura tradicional? En *Agroecología y Desarrollo*. CLADES 1(1): 16-24.
- Astier M & O Masera (1996) Metodología para la evaluación de sistemas de manejo incorporando indicadores de sustentabilidad (MESMIS). Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada. Gira. Documento de Trabajo N° 17: 1-30.
- Astier M, S López Ridaura, E Pérez Agis & OR Masera (2002) El Marco de Evaluación de Sistemas de Manejo incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) y su aplicación en un sistema agrícola campesino en la región Purhepecha, México. En: En Santiago J. Sarandón (editor): *Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable*. Ediciones Científicas Americanas Capítulo 21: 415-430.
- Austin EJ, J Willock, IJ Deary, GJ Gibson, JB Dent, G Edwards-Jones, O Morgan, R Grieve & A Sutherland (1998) Empirical models of farmer behaviour using psychological, Social and economic variables. Part 1: linear modeling. *Agricultural Systems* (2) 38: 203-224.
- Bandura A (1977) Self-Efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological Review*. (84)2: 191-215.
- Barahona R (1987) Conocimiento campesino y sujeto social campesino. *Revista Mexicana de Sociología*, v.49, (1):167-190. En: Toledo VM. *La racionalidad ecológica de la producción campesina*. 197-218. En: *Ecología, campesinado e historia*. Sevilla Guzmán E & González De Molina M (Ed). Ed. La Piqueta. Madrid, España. 1992.
- Bejarano Avila A (1998) Un Marco Institucional para la gestión del medio ambiente y para la sostenibilidad agrícola en Agricultura, Medio Ambiente y Pobreza Rural en América Latina. IFPRI-BID, Washington D.C.
- Blandi ML, NA Gargoloff, CC Flores & SJ Sarandón (2009) Análisis de la sustentabilidad de la producción hortícola bajo invernáculo en la zona de La Plata, Argentina. *Revista Brasileira de Agroecología*. (4)2: 1635-1638.
- Blandi ML, SJ Sarandón & IJ Pereira Veiga (2013a) Complementar la mirada “académica” con la de los agricultores: Una necesidad para evaluar la dimensión sociocultural de la sustentabilidad. Trabajo completo publicado en actas de VIII Jornadas Interdisciplinarias de estudios agrarios y agroindustriales. 8pp.
- Blandi ML, MF Paleologos, SJ Sarandón & I Veiga (2013b) Identificación de impedimentos para avanzar hacia una “conducta sustentable” en pequeños horticultores de La Plata, Argentina. *Cadernos de Agroecología* v. 8, n. 2: 1-5.
- Bockstaller C, P Girardin & HMG van der Werf (1997) Use of agroecological indicators for the evaluation of farming systems. *European Journal of Agronomy* 7: 261-270.
- Cabeza Gutiérrez M (1996) The concept of weak sustainability. *Ecological Economics* 17: 147-156.
- Corral Verdugo V & JQ Pinheiro (2004) Aproximaciones al estudio de la conducta sustentable. *Medio ambiente y comportamiento humano*, 5: 1-26.

- Dalsgaard JP & RT Oficial (1997) A quantitative approach for assessing the productive performance and ecological contributions of smallholders farms. *Agric System* 55(4): 503-533.
- de Camino R & S Müller (1993) *Sostenibilidad de la Agricultura y los Recursos Naturales. Bases para establecer indicadores* Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Serie de Documentos de Programas. Pp 133.
- Evia G & SJ Sarandón (2002) Aplicación del método multicriterio para valorar la sustentabilidad de diferentes alternativas productivas en los humedales de la Laguna Merín, Uruguay. En *Agroecología: El camino hacia una agricultura sustentable*, (Sarandón SJ, ed.). Ediciones Científicas Americanas, Capítulo 22: 431-448.
- Flores CC & SJ Sarandón (2004) Limitations of the economic neo-classical analysis to evaluate the sustainability of agricultural systems. An example comparing organic and conventional horticultural systems. *Journal of Sustainable Agriculture* 24 (2): 77-91.
- Flores CC & SJ Sarandón (2006) Desarrollo de indicadores para la evaluación de la sustentabilidad de agroecosistemas a escala regional. *Revista Brasileira de Agroecología*, Vol 1 (1): 353-356.
- Flores CC, SJ Sarandón & L Vicente (2007) Evaluación de la sustentabilidad en sistemas hortícolas familiares del partido de La Plata, Argentina, a través del uso de indicadores. *Rev. Bras. Agroecología*, v.2, (1): 180-184.
- Flores CC, SJ Sarandón & ME Marasas (2006) Evaluación de un proceso participativo de transición agroecológica en el cinturón hortícola de La Plata, Buenos Aires, Argentina. *Anales (CD-ROM) IV Congresso Brasileiro de Agroecologia*, SESC, Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, Nov 2006. N° 222, 4pp.
- García Ferrando M (1992) La encuesta. En: *El análisis de la realidad social. Métodos y Técnicas de investigación*. Editorial Alianza Universidad. Pp 141-170.
- Gargoloff NA, Albaladejo C & SJ Sarandón (inédito) La entrevista paisajística: un método para contextualizar las prácticas y los saberes de los agricultores para el desarrollo de un manejo adecuado de los recursos naturales. Aplicación al caso de los horticultores del Partido de La Plata, Argentina.
- Gargoloff NA, Riat P, Abbona EA & SJ Sarandón (2007) "Análisis de la Racionalidad Ecológica en 3 grupos de horticultores en La Plata, Argentina." V Congresso Brasileiro de Agroecologia, 1 a 4 de outubro de 2007, Guarapari, ES, Brasil. *Revista Brasileira de Agroecologia*, Vol 2 (2): 468-471.
- Gayoso J & A Iroumé (1991) Metodología para estimar la fragilidad de terrenos forestales. *Medio Ambiente* 11(2): 13-24.
- Gomez AA, DE Swete Kelly, JK Syers & KJ Coughlan (1996) Measuring sustainability of agricultural systems at the farm level. *Methods for assessing soil quality*, SSSA Special Publication 49: 401-410.
- Gómez-Benito C (2001) Conocimiento local, Diversidad Biológica y Desarrollo. En *Agroecología y Desarrollo: Aproximación a los fundamentos agroecológicos para la gestión sustentable de agroecosistemas mediterráneos*. Ediciones Mundi Prens. Capítulo 2: 49- 64.
- Gudynas E (2000) Los límites de la sustentabilidad débil y el tránsito desde el capital natural al patrimonio ecológico. *Educación, Participación y Ambiente*, MARN, Caracas, 4 (11): 7-11.
- Hart RD (1985) Sistemas agrícolas. En: *Conceptos básicos sobre agroecosistemas*. 33-44 Serie Materiales de Enseñanza N 1. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.
- Harte MJ (1995) Ecology, sustainability, and environment as capital. *Ecological Economics* 15: 157-164.

- Imbach A, E Dudley, N Ortiz & H Sánchez (1997) Mapeo analítico, reflexivo y participativo de la sostenibilidad (MARPS) Unión Mundial para la naturaleza (UICN). Programa de estrategias para la sostenibilidad. Serie herramientas y capacitación. 57 pp.
- IPAF (2006) Instituto de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Pequeña Agricultura Familiar de la Región Pampeana. Tecnología de otra punta. (Boletín técnico, 1) Último acceso: octubre 2011. Disponible en: <http://anterior.inta.gov.ar/f/?url=http://anterior.inta.gov.ar/cipaf/info/pampeana/boletines/boletin06.html>.
- Irisity F & M Chiappe (2012) Indicadores socioeconómicos para la evaluación de la sustentabilidad forestal en el norte de Uruguay Agrociencia Uruguay Vol 16 (1):177-185.
- Izac AMN & MJ Swift (1994) On agricultural sustainability and its measurement in small –scale farming in sub- Saharan Africa. *Ecological Economics* 11:105-125.
- Kaufmann RH & CJ Cleveland (1995) Measuring sustainability: needed-and interdisciplinary approach to an interdisciplinary concept. *Ecological Economics* 15:109-112.
- Koning GHJ, PJ van de Kop & LO Fresco (1997). Estimates of sub- national nutrient balances as sustainability indicators for agro-ecosystems in Ecuador. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 65 :127-139.
- Lave J (1988) *Cognition in practice: Mind, mathematics and culture in everyday life*. Cambridge University Press. Cambridge. 214p.
- Lefroy RDB, HD Bechstedt & M Rais (2000) Indicators for sustainable land management based on farmer surveys in Vietnam, Indonesia, and Thailand. *Agric. Ecosyst. Environ.* 81, 137–146.
- Mello Amoroza MC & RB Viertler (2010) A abordagem qualitativa na colecta e análise de dados em Etnobiológica e Etnoecológica. Em: Métodos e técnicas na pesquisa Etnobiológica e Etnoecológica. Primera Edición. Ed NUPEEA. Capítulo 3 pp 65-83.
- Pacini C, A Wossink, G Giesen, C Vazzana & R Huirne (2003) Evaluation of sustainability of organic, integrated and conventional farming systems: a farm and field-scale analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 95: 273-288.
- Roming DE, M Jason Garlynd & RF Harris (1996) Farmer- based assesment of soil quality: a soil health scorecard. In: *Methods for Assessing Soil Quality*. 127-158. (Eds) JW Doran & AJ Jones. SSSA Spetial Publication N 49. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Sarandón SJ (1998) The development and use of sustainability indicators: a need for organic agriculture evaluation. XII International Scientific Conference IFOAM 1998. 16/19 Noviembre 1998, Mar del Plata, Argentina: pp. 135.
- Sarandón SJ (2002 a) El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. En Santiago J. Sarandón (editor): *Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable*. Ediciones Científicas Americanas Capítulo 20: 393-414.
- Sarandón SJ (2002 b) La agricultura como actividad transformadora del ambiente. El impacto de la Agricultura intensiva de la Revolución Verde. En “AGROECOLOGIA: El camino hacia una agricultura sustentable”, SJ Sarandón (Editor), Ediciones Científicas Americanas, La Plata. Capítulo 1:23-48.
- Sarandón SJ, ME Marasas, F Dipietro, A Belaus, W Muiño & E Oscars (2006a) Evaluación de la sustentabilidad del manejo de suelos en agroecosistemas de la provincia de La Pampa, Argentina, mediante el uso de indicadores. *Revista Brasileira de Agroecología*, Vol 1 (1): 497-500.
- Sarandón SJ, MS Zuluaga, R Cieza, C Gómez, L Janjetic & E Negrete (2006b) Evaluación de la sustentabilidad de sistemas agrícolas de fincas en Misiones, Argentina, mediante el uso de indicadores. *Revista Agroecología*, Vol 1: 19-28. España.

- Sarandón SJ & CC Flores (2009) Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: una propuesta metodológica. *Revista Agroecología*, Vol 4: 19-28 España. ISSN: 1989-4686.
- Sepúlveda S, H Cavaría, A Castro, P Rojas, E Picado & D Bolaños (2002) Metodología para estimar el nivel de desarrollo sostenible en espacios territoriales, IICA. 47pp.
- Smyth AJ & J Dumanski (1995) A framework for evaluating sustainable land management. *Can Journal Soil Sci* 75:401-406.
- Socorro Castro A (2001) Gestión de la transformación agraria en el territorio de la Provincia de Cienfuegos: indicadores de sostenibilidad. Tesis en opción al título de master en Ciencias Agrícolas. Universidad Agraria de La Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez". 84 pp.
- Tellarini V & F Caporali (2000) An input/output methodology to evaluate farms as sustainable agroecosystems: an application of indicators to farms in central Italy. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 77: 111–123.
- Toledo VM (1992) La racionalidad ecológica de la producción campesina. En: *Ecología, campesinado e historia*. Sevilla Guzmán, E y Gonzáles de Molina M. (Editores). Ed. La Piqueta. Madrid. España. pp 197-218.
- Torquebiau E (1992) ¿Are tropical agroforestry home gardens sustainable? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 41:189-207.
- Van der Werf HMG & J Petit (2002) Evaluation of the environmental impact of agriculture at the farm level: a comparison and analysis of 12 indicator-based methods. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 93: 131-145.
- Viglizzo EF, AJ Pordomingo, MG Castro & FA Lertora (2003) Environmental assessment of agriculture at a Regional scale in the pampas of Argentina. *Environmental monitoring and assessment* 87: 169–195.
- Viglizzo Ef, F Frank, J Bernardos, De Buschiazzo & S Cabo (2006) A Rapid Method For Assessing the Environmental Performance of Commercial Farms in the Pampas of Argentina *Environmental Monitoring And Assessment*, 117: 109–134.
- Wackernagel M & JD Yount (1998) The ecological footprint: an indicator of progress toward regional sustainability. *Environmental Monitoring and Assessment* 51: 511-529.
- Winograd M, J Eade & A Farrow (1998) Atlas de Indicadores ambientales y de sustentabilidad para América Latina y el Caribe. Convenio CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), PNUMA (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Programa en CD.

CAPÍTULO 15

TRANSICIÓN AGROECOLÓGICA: DE SISTEMAS CONVENCIONALES DE PRODUCCIÓN A SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE BASE ECOLÓGICA. CARACTERÍSTICAS, CRITERIOS Y ESTRATEGIAS.

Mariana Marasas, María Luz Blandi, Nadia Dubrovsky Berensztein y Valentina Fernández

Introducción

Los graves problemas de la agricultura moderna, y su impacto sobre el medio ambiente y la sociedad, están siendo reconocidos desde hace varios años (Altieri, 1997; Sarandón, 2002; Caporal *et al.*, 2009). Frente a esta situación, surge la necesidad de avanzar hacia una propuesta alternativa de producción con un enfoque agroecológico (ver Capítulo 1 y 2). Sin embargo, transformar sistemas convencionales a otros de base ecológica, no es una tarea sencilla y rápida, sino que requiere cambios graduales en las formas de manejo y gestión de los agroecosistemas (Caporal *et al.*, 2009). Se necesita tener en cuenta aspectos productivos, culturales, sociales, económicos y políticos, que demandan una mirada integral y sistémica. Por lo tanto, un proceso de transición implica una multitud de efectos y de causas previstas e imprevistas y se construye a lo largo del tiempo.

Como lo plantean Gliessman *et al.* (2007), supone un cambio en los valores y las formas de actuar de los agricultores y de los consumidores, en sus relaciones sociales, productivas y con los recursos naturales, es decir, que la transición no sólo ocurre en la finca, sino también a nivel comunidad. A su vez, es importante destacar que también es un proceso político, que involucra cambios en las relaciones de poder y que atraviesa a todos los actores sociales activos en la transición agroecológica (AE).

En el presente capítulo, se propone comprender la complejidad del proceso de transición y establecer criterios que permitan realizar el abordaje

del mismo. Esto requiere poder aplicar los conocimientos teóricos en función de los múltiples escenarios posibles. Por lo tanto, se debe comenzar con un diagnóstico de la situación inicial o de las condiciones de partida, para luego evaluar las alternativas posibles a la hora de pensar estrategias de abordaje del proceso de transición agroecológica.

Se pondrá el foco en la transición a nivel de establecimiento o finca. Para ello, se analizarán los aspectos vinculados al agroecosistema en particular (el estado de los recursos naturales, las características del agricultor o familia productora y sus prácticas de manejo). También, se considerarán los factores externos al mismo, que influyen promoviendo u obstaculizando el proceso.

Este recorte de la realidad, que surge de analizar la transición a nivel de finca, se realiza sólo con fines didácticos y se debe a que es en esta escala de análisis donde hay mayor información para abordar un proceso de transición AE. Sin embargo, entendemos que la complejidad de la misma requiere de una mirada territorial más amplia, donde los aspectos aquí incluidos adquieren otra dimensión y deben ser tenidos en cuenta. A partir de la descripción de un caso representativo del cinturón hortícola de La Plata se podrá visibilizar la propuesta de abordaje que propone el capítulo para avanzar en la transición AE.

Marco conceptual del proceso de transición AE

Bajo el modelo hegemónico actual, el desarrollo de los sistemas de producción de alimentos fue orientado a la búsqueda de paquetes de tecnologías generales y universales, destinados a maximizar la producción por unidad de superficie. Estas recetas universales generaron problemas como la expulsión de muchos agricultores que no se adecuaban a estas exigencias, además de los problemas ambientales descriptos (ver Capítulo 1). Por lo tanto, el enfoque prevaleciente en la agricultura moderna es inadecuado para promover el proceso de transformación o transición AE. Frente a esta realidad, se requiere otra forma de generación de conocimientos, asociado a un nuevo

enfoque o abordaje de los sistemas de producción. En concordancia con el documento de EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), el Marco referencial en AE (2006) plantea el desafío de encontrar las estrategias para “deconstruir” los esquemas de conocimientos y las formas de producción que causan degradación social y ambiental, para generar una construcción o “reconstrucción” desde un nuevo paradigma. Se busca identificar qué tópicos son los que se deberían “deconstruir” y cuáles los que se deberían profundizar, a la hora de avanzar en la “reconstrucción” de las estrategias de abordaje para el desarrollo de la transición agroecológica (Marco teórico IPAF-INTA, 2010).

En este sentido, y desde un nuevo paradigma, se requiere abordar el proceso de transición a partir de comprender **la complejidad de los sistemas de producción**, que se traduce en la confluencia de múltiples factores que se relacionan entre sí.

Para afrontar la complejidad de los sistemas de producción y la transición AE se requiere comprender cómo funciona el agroecosistema. Para ello es importante un **abordaje sistémico**, donde se consideren los límites del sistema, los componentes que lo integran y las interrelaciones que ocurren entre ellos (ver Capítulo 4). Este abordaje permite organizar el conocimiento sobre el funcionamiento del agroecosistema, interpretando las propiedades particulares que emergen de estas relaciones y que son las responsables de brindar los servicios ecológicos útiles desde un enfoque agroecológico. El uso de indicadores de sustentabilidad es una herramienta apropiada para evaluar emprendimientos de reconversión agroecológica (ver Capítulo 14).

Esta complejidad está íntimamente vinculada al reconocimiento de que existe una gran **heterogeneidad ecológica y/o cultural** (Altieri, 1997). Esto requiere poder aplicar los conocimientos teóricos en función de los distintos escenarios posibles.

Desde el enfoque agroecológico, dicha heterogeneidad determina que **no existen recetas únicas** a la hora de diseñar esquemas productivos sustentables. Bajo esta premisa, se deberán encontrar las mejores alternativas que permitan traccionar el proceso de transición, pensando que las estrategias se adecuarán a las **condiciones propias del lugar**.

Desde este nuevo paradigma, se comprende que el proceso de transición se construye a partir de acciones que tengan en cuenta a la familia productora, su finca, su entorno y las relaciones entre ellos. Por lo tanto, la interpretación correcta de este análisis dependerá de los diferentes modos de intervención de los seres humanos, quienes toman la decisión de modificar un ecosistema para transformarlo con fines productivos en un agroecosistema. Entre otras cosas, se deben considerar elementos tales como los recursos naturales propios de la finca, el empleo de recursos en lo posible locales, la ruptura de las formas de dependencia que ponen en peligro los mecanismos de reproducción ampliada de la unidad doméstica-productiva y el establecimiento de sistemas de comercialización justos (enfocados en mercados locales y circuitos cortos de comercialización) y con productos sanos (Marco teórico IPAF-INTA, 2010). Realizar estos cambios es un proceso complejo que requiere abordar los sistemas productivos desde un enfoque integral y holístico.

*La transición agroecológica es un **proceso complejo y dinámico** en el que se articulan **distintas escalas** (finca, comunidad local, territorio) y que se ve afectado por factores ecológicos, socio-culturales, económicos, tecnológicos y políticos.*

¿Cómo se realiza la transición AE?

Un proceso de transición agroecológica, entonces, consiste en una serie de cambios graduales que involucra todos los aspectos antes mencionados. La serie de cambios y el orden en el que se vayan implementando estará sujeta a las particularidades del sistema que emprende la transición.

Gliessman *et al.* (2007), definieron cuatro niveles del proceso de transición, pensando en transformar sistemas convencionales caracterizados por monocultivos con alta dependencia de insumos externos a sistemas diversificados que favorezcan los servicios ecológicos y que reemplacen, en la medida de lo posible, los insumos sintéticos externos al sistema:

Nivel 1: Incrementar la eficiencia de prácticas convencionales para reducir el consumo y uso de insumos costosos, escasos, o ambientalmente nocivos.

Nivel 2: Sustitución de insumos sintéticos por otros alternativos u orgánicos. La meta es reemplazar productos tóxicos, por otros más benignos ambientalmente. Sin embargo, la estructura básica del agroecosistema no se altera considerablemente.

Nivel 3: Rediseño del agroecosistema de forma tal que funcione sobre las bases de un nuevo conjunto de procesos ecológicos. Así, más que encontrar formas más sanas de resolver problemas como plagas y/o enfermedades, se previene su aparición a partir del diseño de agroecosistemas con un manejo y estructura diversificada.

Nivel 4. Cambio de ética y de valores, pensando en los dos componentes más importantes de los sistemas alimentarios, los que producen los alimentos y los que consumen los productos.

Sin embargo, consideramos que para iniciar un proceso de transición, no necesariamente se deben cumplir una serie de pasos secuenciales, sino que, al ser un proceso tan complejo, se deben tener en cuenta varios criterios en simultáneo. Esto determina la necesidad de definir la situación de partida del sistema productivo, y según este escenario, proponer las estrategias para el proceso de transición.

En este sentido, identificamos tres criterios claves a tener en cuenta de la compleja realidad con la que nos enfrentamos: 1. Los atributos estructurales del agroecosistema particular; 2. El conocimiento ambiental local (Berkes *et al.*, 2000) del agricultor o familia agricultora que toma las decisiones y gestiona el funcionamiento del sistema; 3. Los factores contextuales que condicionan las posibilidades de desarrollo de un proceso de transición.

Para el análisis, se propone identificar aquellos atributos que estén ejerciendo un rol positivo y así potenciarlos, o bien aquellos que tengan un rol negativo, de manera de disminuir su efecto sobre los procesos ecológicos que condicionan el funcionamiento del sistema productivo.

Se debe prestar atención a las prácticas de manejo que lleva a cabo el productor o familia productora y cómo éstas afectan a los agroecosistemas.

Para ello, es importante utilizar metodologías participativas para la obtención de información genuina y poder realizar este diagnóstico de manera colectiva (Marasas *et al.*, 2007). Se considera más apropiado trabajar en grupos interdisciplinarios, integrados por el equipo técnico, investigadores, asesores externos y agricultores.

Caracterización de los criterios y algunas estrategias de intervención

Los atributos estructurales del agroecosistema particular

Los sistemas y en particular los agroecosistemas tienen una estructura, que puede ser simple o compleja y depende del número y tipo de componentes y de los arreglos entre dichos componentes (ver Capítulo 4). Estos arreglos, que pueden ser tanto espaciales como temporales, los definimos como atributos estructurales de los agroecosistemas, haciendo especial énfasis en los vinculados a la agrobiodiversidad y al manejo ecológico del suelo, dos dimensiones centrales en el manejo de base agroecológica (Pérez, 2010).

Como no existe una receta única para implementar la transición AE, resulta de vital importancia poder analizar cuáles son y en qué estado están los recursos naturales propios del establecimiento productivo. La caracterización incluye aspectos variados que van desde la identificación del tipo de recursos naturales disponibles, las características de la biodiversidad en los distintos ambientes del agroecosistema, la actividad productiva propiamente dicha y su manejo, hasta considerar aspectos vinculados a las tecnologías utilizadas y la infraestructura disponible, entre otros. Esta caracterización inicial nos permitirá detectar situaciones concretas para la toma de decisiones, a fin de fortalecer el estado de los recursos locales y consolidar el proceso de transición.

Guía que puede ordenar la caracterización del sistema. Algunas estrategias de abordaje

1. Cuál es el tipo de actividad productiva que se lleva a cabo (agrícola, ganadera, mixta, forestal, etc.), teniendo en cuenta que cada una de éstas tendrá sus condiciones estructurales características y sus dificultades a afrontar.

2. Cómo es la diversidad espacial cultivada y espontánea en los lotes productivos: número de cultivos, existencia o no de asociaciones, cultivos de cobertura, corredores o franjas de vegetación espontánea, entre otras.

Estrategia: incrementar la diversificación del sistema. Esto ofrecerá ventajas, que según la práctica podrá evitar que el suelo permanezca desnudo y, así, disminuir la erosión; generar microambientes para la permanencia de insectos benéficos; reducir la presencia de especies vegetales no deseadas, aprovechar más eficientemente los recursos, etc. (ver Capítulos 10, 11, 12 y 13).

3. Cómo se organiza temporalmente la diversidad, considerando si existen o no rotaciones, ya sea de cultivos o de actividad productiva.

Estrategia: realizar rotaciones que promuevan el control preventivo de malezas y a disminuir la susceptibilidad a plagas y enfermedades. A su vez, añada a los suelos residuos de diferentes especies, ayudando a mantener la diversidad biológica y a mejorar la disponibilidad de materia orgánica y nutrientes, entre otros.

4. Si hay o no ambientes semi-naturales en el predio (Figura 15.1), su distribución y la proporción de superficie que ocupan respecto de las zonas de finalidad únicamente productiva.

Estrategia: manejar dichos ambientes, diseñar su proximidad al lote cultivado y la buena conectividad con las zonas productivas (ver Capítulos 10 y 13), pueden aportar al flujo de organismos benéficos entre ambientes de diferentes usos productivos o entre aquellos de finalidad productiva y los semi-naturales (Marasas *et al.*, 2011).

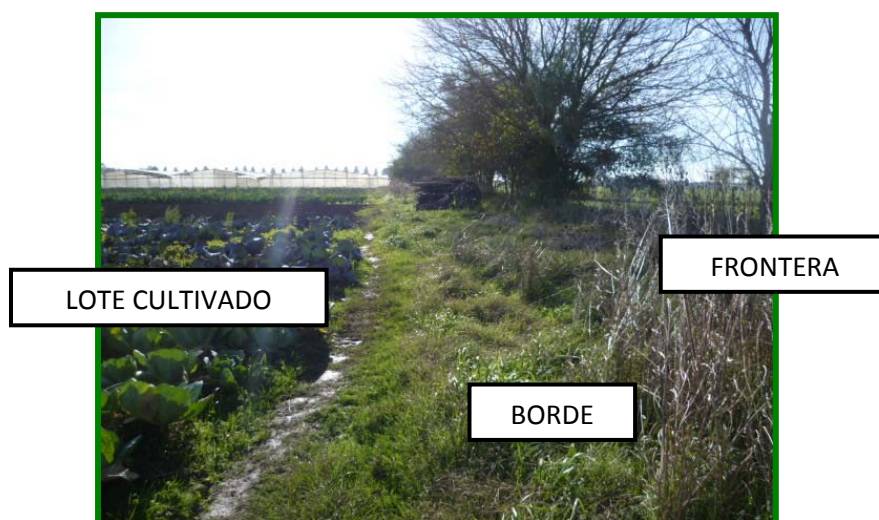


Figura 15.1. Ambientes semi naturales (Frontera, Borde) y lote cultivado.

5. Cuál es el estado de los componentes de la agrobiodiversidad que brindan servicios ecosistémicos claves (este punto, probablemente requiera de algún especialista para la determinación de las especies sugeridas).

Estrategia: se recomienda analizar y fomentar: a) la vegetación espontánea y b) la artropodo-fauna benéfica:

a) Para la vegetación espontánea se requiere considerar su composición específica, su distribución espacio-temporal y la abundancia/cobertura de las especies, prestando especial atención a las pertenecientes a las familias reconocidas como atractivas y refugios de enemigos naturales (Asteraceae, Fabaceae y Apiaceae) (Saini & Polack, 2000). Por otra parte, registrar, en las distintas estaciones del año, si están o no en floración y el color de la flor, debido a que son proveedoras de néctar y polen (alimento de parasitoides y algunos predadores).

b) En cuanto a la artrópodo-fauna, evaluar su composición específica, su abundancia, la distribución espacio-temporal e identificar los roles tróficos de los organismos presentes, en particular aquellos citados como enemigos naturales de herbívoros plagas [Artrópodos pertenecientes a los Órdenes Araneae (Clase Arachnida), Hemiptera, Coleoptera e Hymenoptera (Clase

Insecta), y dentro de estos últimos las familias Anthocoridae, Nabidae, Reduviidae, Geocoridae, Carabidae, Coccinellidae, Nitidulidae (sensu Cybocephalidae) y Staphylinidae]. Es importante poder diferenciar aquellos enemigos naturales polífagos inespecíficos de aquellos más específicos, como los microhimenópteros, ya que todos intervienen en la regulación biótica y aportan al equilibrio del sistema.

6. Cuáles son las plagas y enfermedades más frecuentes y con qué intensidad afectan a la producción, en cada época del año.

7. Cómo es el estado de conservación del suelo y las principales prácticas de manejo (el tipo de labranza, fertilización, esterilización, entre otras). En particular, observar sus características físicas, químicas y biológicas.

Estrategia: se considera importante pensar en implementar labranzas más conservacionistas como, por ejemplo, la labranza vertical para conservar la estructura del suelo; los abonos orgánicos para promover una mejor estructura y disponibilidad de nutrientes y en horticultura, reemplazar la esterilización con productos químicos por prácticas que alteren lo menos posible la fauna y flora edáficas (biofumigación, etc.).

8. Cuál es la cantidad y composición de insumos agroquímicos utilizados: monitorear tipo, dosis, frecuencia.

Estrategia: es necesario disminuir paulatinamente el uso de insumos agroquímicos, ya que alteran el equilibrio ecológico del sistema. Aquellos agricultores con alto uso de insumos químicos deberían comenzar por realizar un uso adecuado, para luego pasar a la sustitución de insumos y paralelamente pensar en las alternativas de rediseño del agroecosistema, según el caso particular.

Si bien los aspectos descriptos hasta aquí son claves para abordar el proceso de transición en un establecimiento, no son los únicos. En este sentido, aspectos como: el estado de los recursos hídricos y energéticos (9), la infraestructura presente en el predio (10), la tecnología empleada (11), la situación en la que se encuentra la tenencia de la tierra (12), la mano de obra utilizada (13), son necesarios de tener en cuenta, ya que permiten construir una mirada integral del sistema productivo. Utilizamos la imagen de un molino para

presentar en sus aspas todo el conjunto de atributos estructurales del establecimiento que son de relevancia para la transición (Figura 15.2).

En el proceso de transición AE, se deberían poder integrar de manera creativa los distintos componentes del agroecosistema y sus arreglos espaciales y temporales y, así, favorecer una producción cada vez menos dependiente de insumos externos (Marasas *et al.*, 2012).

La clave en el proceso de transición agroecológica se basa en una transformación creativa de los distintos atributos estructurales de los agroecosistemas, particularmente el suelo, la agrobiodiversidad y los servicios ecológicos que ella otorga, a partir de las prácticas de manejo realizadas por el agricultor.

Conocimiento ambiental local del agricultor

Para llevar adelante un proceso de transición, es fundamental tener en cuenta el conocimiento ambiental local del agricultor. Se entiende como tal, al conjunto de conocimientos, prácticas y creencias sobre las relaciones entre los seres vivos y de los mismos con su entorno, derivado de la experiencia y observación del medio natural y de los agroecosistemas (Berkes *et al.*, 2000). Según Gargoloff *et al.* (2011), éstas prácticas y conocimientos agrícolas, desarrollados en vínculo con los recursos naturales, difieren según los distintos grupos de agricultores de acuerdo a sus características ambientales, técnicas y socioculturales. Se transmiten de generación en generación, generalmente de forma oral. Toledo *et al.* (2010), hacen referencia al “saber local” cuando hablan de las particularidades de estas expresiones en los diferentes territorios, culturas o contextos.

La importancia del mismo radica en que es un conocimiento genuino y de alto valor empírico. El agricultor se identifica con sus prácticas y sus saberes. Poner en valor dichos conocimientos para diseñar las estrategias del proceso de transición, fortalece el mismo, lo hace más apropiable por parte del agricultor y disminuye la resistencia al cambio. El enfoque agroecológico

plantea la necesidad de revalorizar dicho conocimiento y promover el intercambio de saberes para favorecer un proceso de transición AE.

El conocimiento ambiental local es acumulativo y dinámico, es decir, que se basa en las experiencias pasadas pero se adapta a los cambios tecnológicos y sociales del presente (Nosedá *et al.*, 2011). Es por ello que los agricultores poseen una gran capacidad de cambio tecnológico, que constituye la base del diseño de sus estrategias de producción. Si esta capacidad de cambio no existiera, difícilmente podrían ajustar su actividad productiva a las permanentes variaciones ecológicas, sociales y económicas de su contexto. De esta forma, es posible señalar que en la lógica de los agricultores familiares, están presentes elementos dados por la expansiva agricultura moderna y elementos vinculados a los saberes tradicionales, en donde se puede ver reflejada, igualmente, esa capacidad del sujeto para innovar, experimentar, explorar ante diferentes situaciones. Esta singularidad puede constituir un facilitador para trabajar conjuntamente en nuevas estrategias de diseño y manejo del agroecosistema, potenciando el proceso de transición. Asimismo, otro aspecto en relación al agricultor e importante para abordar un proceso de transición son sus expectativas, es decir, su deseo de permanencia en la actividad y su predisposición para realizar alternativas productivas (Blandi *et al.*, 2011; 2013).

Todo lo expuesto en este apartado explica la importancia y el potencial que tiene el conocimiento de los agricultores a la hora de pensar en un proceso de transición.

El conocimiento ambiental local del agricultor requiere ser tenido en cuenta durante la transición. El reconocimiento e identificación de este saber-hacer, en un proceso dialógico y participativo, permitiría avanzar desde un lugar de mayor solidez.

Los factores contextuales

La bibliografía en general aborda el proceso de transición orientado a la finca del agricultor. Sin embargo, resulta necesario abarcar aquellos factores del contexto, que se expresan en el análisis de lo local o territorial y que influyen y condicionan el proceso de transición agroecológica a nivel de finca. Los mismos pueden agruparse en cuatro áreas: política, técnica, económica y social.

Área política:

Para favorecer un proceso de transición, la política debería ocuparse del diseño y producción de acciones, instituciones y normas tendientes al logro de la sustentabilidad agraria (Gonzalez de Molina, 2012). En este sentido, las instituciones locales, regionales y nacionales, desempeñan un papel muy importante a la hora de crear condiciones económicas, fiscales y de mercado, que pueden favorecer un proceso de transición. Por ejemplo, estas acciones pueden ser: regular mercados, establecer compensaciones o subvenciones, otorgar incentivos fiscales (Gonzalez de Molina, 2012), entregar subsidios y/o difundir o prohibir ciertas tecnologías. Esto puede darse a través de leyes, normas u otros recursos, según los objetivos de las instituciones. Además, los actores políticos tienen que acompañar y legitimar estas medidas, así como generar las estructuras sociales que sostengan las mismas y estimular procesos de concientización o de sensibilización.

En Argentina son varios los ejemplos donde acciones de tipo político pueden condicionar favorablemente el proceso de transición. Por ejemplo, a través de ordenanzas que limitan el uso y aplicación de agroquímicos (Partido de Cañuelas y Partido de General Pueyrredón en la provincia de Buenos Aires o la localidad de San Genaro en la provincia de Santa Fe, entre otros) o con la incorporación del principio de precaución en la Ley Ambiental Argentina. Este último es el caso de la Justicia de la Provincia de Santa Fe que dictó un fallo

inédito, al dejar firme una sentencia que prohíbe las fumigaciones con glifosato en cercanías de zonas urbanas de la ciudad de San Jorge, a partir del uso del principio precautorio en lo que respecta a agroquímicos. La Justicia de Santa Fe afirmó que la limitación en el uso del glifosato para la ciudad de San Jorge se fundamenta en “la incertidumbre científica acerca de los riesgos ambientales, la incidencia de la alteración seria del medio ambiente y la irreversibilidad que pueden provocar tales daños”.

Si bien estos ejemplos demuestran cómo desde la política se puede favorecer un proceso de transición, el sostenimiento de la misma dependerá de su legitimación a través de los actores sociales involucrados y de acciones que consoliden la decisión legal tomada. Es importante destacar que la ausencia de este tipo de políticas, desalienta y hasta podría hacer retroceder el proceso de transición.

Área técnica:

El tipo de tecnologías y la forma en que se difunden, tienen gran influencia a la hora de abordar la transición. Respecto al tipo de tecnologías, en general, desde el ámbito privado y público, aún se promocionan principalmente aquellas basadas en un paquete tecnológico que incluye agroquímicos (pesticidas y fertilizantes) y semillas de alto rendimiento, entre otros, entorpeciendo el proceso. Para revertir esta situación, tanto el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) como la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), han incorporado en su agenda institucional a la Agroecología, a través de programas de investigación, desarrollo e innovación tecnológica. Con ello, se pretende incrementar la oferta de profesionales con ese perfil, y aumentar los conocimientos sobre técnicas y tecnologías para realizar producciones sustentables. Sin embargo, se reconoce que para abordar un proceso de transición, es necesaria la adecuada formación de más profesionales que promuevan este tipo de producción, tanto a nivel privado como estatal. En este sentido, es importante mencionar que algunas Universidades ya están incorporando la Agroecología en sus planes de estudio como una estrategia para formar un perfil de Ingeniero Agrónomo con

un enfoque distinto. Entre estos ejemplos, se encuentra la cátedra de Agroecología de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP).

En relación a la forma en que se difunden las tecnologías, la mayoría de los técnicos continúan con una lógica transferencista de información, careciendo de herramientas metodológicas para fomentar un proceso de transición. Para ello, es preciso contar con otro tipo de herramientas, que prioricen la participación del agricultor en la adaptación tecnológica, la experimentación conjunta y la toma de decisiones.

Área económica (el mercado):

Dentro del área económica, se pone especial atención al mercado, por su gran influencia en un proceso de transición. En general, los mercados concentradores requieren una estandarización alimentaria, por ejemplo por tamaño, color o aspecto de las frutas y verduras. Entonces, el agricultor adecúa su estilo de producción para lograr estos objetivos y, así, poder insertar su producto en el mercado. Es importante destacar que, para cumplir con esos estándares de calidad, se necesitan utilizar grandes cantidades de agroquímicos. Este tipo de mercados, claramente entorpece cualquier intento de transición.

Como alternativa a los mismos, se puede hacer referencia, por ejemplo, a las ferias de agricultores familiares. En ellas se posibilita que el consumidor comprenda que lo que consume como alimento no es solamente el producto que adquiere, sino que ese producto es el resultado de un proceso complejo con consecuencias ambientales y socioeconómicas. A su vez, se establece un contacto entre el agricultor y el consumidor, generándose una relación de confianza y un beneficio económico para el agricultor, al desligarse de los intermediarios mediante la venta directa.

En relación al mercado de insumos, para favorecer un proceso de transición, es necesario apuntar a la utilización de recursos locales, industrias e insumos de la región, ya que disminuye la dependencia de insumos externos costosos.

Área social:

La cooperación social trata del tejido social de la comunidad estudiada, es decir la cultura, los hábitos de socialización y de relaciones entre las personas (Cuadron, 2012). Los criterios vinculados a esta categoría tienden a considerar la propensión de las personas a organizarse de manera autónoma para generar cambios. La organización social, representada por cooperativas, asociaciones y otras, indudablemente es fundamental para cualquier proceso de cambio. Se trata de relaciones de intercambio y aportes entre agricultores que contribuyen al beneficio mutuo (Chiappe, 2002). En el caso de la transición, sirve como herramienta para hacer frente a los distintos tipos de problemas que surjan en el camino, los cuales no solamente están vinculados a la producción. Los autores que escribieron sobre la transición agroecológica (Caporal *et al.*, 2009; Costabeber, 1998) remarcen que este proceso necesita de fuertes dinámicas sociales y locales que le den vida.

En todas esas dinámicas sociales, existe un equilibrio o una equidad entre los géneros, las clases, las profesiones, etc., y los roles que cada uno de los actores cumple en la organización. En este sentido, el rol de la familia, y especialmente el de la mujer, es de fundamental importancia en la gestión y comercialización de la producción.

Otro aspecto importante en esta área, que influye en la transición, es la tenencia de la tierra y la infraestructura circundante a la finca del agricultor, es decir, caminos, servicios, escuelas, entre otros. Si estas necesidades están satisfechas, el agricultor y su familia se encuentran mucho más predispuestos a permanecer en la actividad y generar un cambio. De lo contrario, para muchos es una situación desmotivante y puede representar un obstáculo.

Para analizar el proceso de transición es necesario abarcar los factores contextuales a la finca, que influyen fomentando o desfavoreciendo dicho cambio. De lo contrario, los casos exitosos solo se entenderían como islas de experiencias locales desarticuladas y sin conexión.

Representación gráfica de los criterios

En la Figura 15.2 se muestran los tres criterios descriptos anteriormente (atributos estructurales del agroecosistema, conocimiento ambiental local y factores contextuales). Utilizamos la imagen de un molino, en la que cada aspa simboliza uno de los atributos estructurales del establecimiento que son de relevancia para la transición. La representación lleva implícita la idea de movimiento y en ella no existen, a priori, jerarquías predeterminadas entre los elementos. Todos estos atributos se vinculan íntimamente con el conocimiento ambiental local del productor, por lo que se encuentra en el centro del molino. Por último, en las áreas circulares, se describen los factores contextuales que influyen sobre los atributos estructurales del agroecosistema y los conocimientos y decisiones del productor. Las flechas rectas de doble entrada expresan la interacción entre los distintos factores contextuales que, generalmente se condicionan entre sí; y las flechas curvas representan la influencia de los factores contextuales en el nivel de agroecosistema (el molino). El tamaño de los círculos, aspas y flechas hacen referencia a la importancia relativa de cada uno en el proceso de transición.

La Figura 15.2 es una representación esquemática, cuyos atributos y factores cumplen roles particulares e importantes, a la vez que se solapan y entrelazan entre sí. Cada uno de estos tendrá una importancia relativa según la realidad existente, generándose múltiples escenarios, los cuales requerirán de una estrategia de acción particular para implementar el proceso de transición.

Construir un esquema similar para caracterizar la situación inicial del sistema, permitirá facilitar la planificación de un proceso de transición e implementar estrategias de manejo lo más apropiadas posibles en función de la realidad local. En el apartado siguiente se ejemplifica con un estudio de caso.

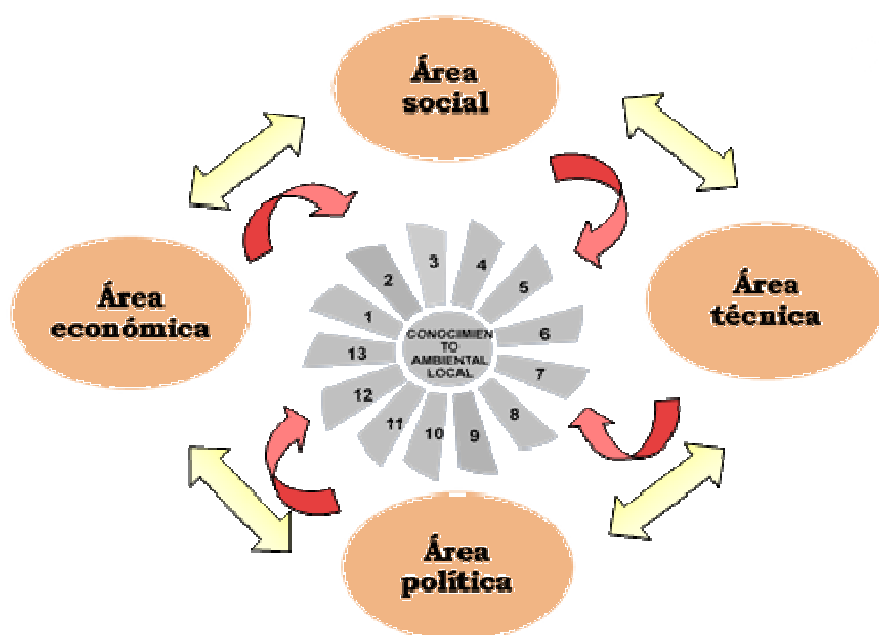


Figura 15.2. Gráfico que representa cómo se relacionan los Atributos estructurales del agroecosistema, el Conocimiento ambiental local y los Factores contextuales. Referencias: *Aspas del molino*: tipo de actividad productiva (1), diversidad espacial cultivada y espontánea (2), organización temporal de la diversidad (3), existencia de ambientes semi-naturales en el predio (4), componentes de la agrobiodiversidad que brindan servicios ecosistémicos (5), plagas y enfermedades más frecuentes (6), estado de conservación del suelo (7), cantidad y composición de insumos agroquímicos utilizados (8), estado de los recursos hídricos y energéticos (9), infraestructura presente en el predio (10), tecnología empleada (11), situación en la que se encuentra la tenencia de la tierra (12), mano de obra utilizada (13)

El proceso de transición agroecológica en un estudio de caso

Se propone, a través de un ejemplo concreto, considerar las características de un proceso de transición en marcha. Se analizarán, en función de los criterios considerados en el punto anterior, la situación inicial, los cambios ocurridos y las estrategias implementadas.

Se presenta un escenario en el que se comienza a repensar el modelo productivo dependiente de insumos, motivados por una situación de conflicto. En este caso, se explicitará el marco histórico en el cual se desarrolla el proceso de transición, cuál es el conflicto y cómo se va resolviendo según la realidad. A su vez, se analizará a partir de la articulación de los criterios que intervienen (internos al agroecosistema y externos o contextuales), las

fortalezas y limitaciones que se presentan en un proceso dinámico de transición.

Marco histórico y conflicto

Durante la década del '90, la crisis que afectaba a la Argentina tuvo su correlato en el ámbito hortícola de la región platense, con alto impacto en el precio de los insumos y las dificultades de inserción de la producción en el mercado. En el Parque Pereyra Iraola (Municipios de La Plata y Berazategui, Prov. de Buenos Aires) viven más de 100 familias de pequeños productores que son parte del denominado cinturón hortícola de la ciudad de La Plata. Las mismas ocupan 1200 hectáreas dentro del Parque, destinadas desde el año 1949 a la producción familiar a cambio del pago de un canon estatal. Sin embargo, la crisis provocó irregularidades en el pago del canon y las familias del Parque tuvieron que defender y negociar de manera organizada su permanencia en las quintas. Además, debían afrontar importantes acusaciones de contaminación por el uso indiscriminado de agrotóxicos y la presión inmobiliaria sobre la zona (Domínguez, 2008). Esta situación fue un punto de inflexión que facilitó el inicio del proceso de transición y la búsqueda de alternativas para la resolución de los problemas que se presentan en el seno de la organización y/o la familia agricultora.

Luego de reclamos y negociaciones, lograron mantener su actividad productiva, bajo la condición de realizar una producción sin agroquímicos, para lo cual solicitaron asistencia técnica. Hacia el 2000, el Ministerio de Asuntos Agrarios brindó promotores asesores en el marco del programa Cambio Rural Bonaerense. Con el trabajo colectivo entre los técnicos, familias productoras y otros actores del ámbito académico, se comenzó un proceso de transición agroecológica, a partir del abordaje de diferentes dimensiones, acentuando la productiva, la organizacional y la comercial. En ese camino, las familias productoras conformaron la Asociación “Unión de productores familiares sin agrotóxicos del Parque Pereyra Iraola”. Más adelante, se consolidó la

organización y se conformó la Cooperativa de Trabajo Agrícola de Hudson y Pereyra (CoTraHyP).

En este contexto, se describirá el caso de una de las familias de la zona de Hudson, que comenzó una transición hacia prácticas de base agroecológica. El establecimiento posee 4.5 ha. El padre de esta familia comenzó con la actividad hortícola en el año 1975 y, desde su fallecimiento, los hijos llevan adelante el trabajo en el predio, mientras que las mujeres se encargan de la producción de salsas, dulces y licores, y la venta en ferias.

Situación al inicio de la transición

En la Figura 15.3a se visualizan, resaltados en mayor tamaño, cuáles eran, al inicio de la experiencia los aspectos ventajosos para iniciar el proceso de transición agroecológica:

Para los atributos estructurales del agroecosistema en el establecimiento se resaltan:

- el tipo de actividad productiva (1): ya realizaban producción agrícola (horticultura) así como también cría de animales domésticos (pollos, gallinas y cerdos), aspecto que desde un comienzo aportó diversidad productiva al sistema, lo que permitió potenciar las sinergias entre las distintas producciones así como también optimizar la materia y energía de los subproductos de las mismas.
- los ambientes semi-naturales (4): el establecimiento se encuentra dentro de un Parque Provincial con categoría de Reserva de Biósfera y es uno de los principales pulmones verdes entre las ciudades de Bs. As y La Plata, con gran variedad de especies arbóreas y biodiversidad.
- los agroquímicos utilizados (8): la familia productora reconoce no haber sido nunca “gran consumidora de insumos” (Pérez, 2010), aunque compraban algunas semillas importadas, y realizaban eventuales aplicaciones de biocidas y fertilizantes químicos.

-la tenencia de la tierra (12): favoreció el hecho de no tener que pagar un alquiler a cambio de su permanencia en la tierra, aspecto que constituye uno de los principales problemas para gran parte de los agricultores familiares en otras zonas.

-la mano de obra (13): siempre basaron su producción en mano de obra predominantemente familiar.

En relación a los factores contextuales:

-Área Técnica: las familias productoras contaban con la asistencia de técnicos (en un comienzo del Programa Cambio Rural Bonaerense), que acompañaron el proceso de transición desde su inicio.

-Área Social: la organización social de los productores, en distintos espacios, como Grupo de Productores Afectados y la primera Asociación de productores del parque (cuyo primer objetivo era paralizar los desalojos), constituyeron un pilar fundamental en el inicio del proceso de transición, al permitir articular sus necesidades con mayor fuerza, compartir sus experiencias y construir acciones colectivamente.

Situación luego de 10 años de haber iniciado la transición agroecológica

Durante este período y con el apoyo del asesoramiento técnico, se consolidó la producción agroecológica en el establecimiento. Se aprovecharon las potencialidades ecológicas y productivas del sistema (gran diversidad cultivada y asociada), de manera de potenciar los servicios ecológicos y así disminuir la aplicación de insumos químicos contaminantes (ver Capítulo 5). En simultáneo, y con un gran aporte del equipo técnico, se trabajó en la consolidación de la organización de los productores y el fortalecimiento de los canales de comercialización, que garantizaron la venta de la producción agroecológica. En la Figura 15.3b se visualizan los cambios operados a lo largo de este período, que se detallan a continuación:

En relación a los atributos estructurales del agroecosistema, la familia cambió alguna de sus prácticas de manejo e implementó una producción de base agroecológica con las siguientes características:

- Actividad productiva mixta: hortícola al aire libre y bajo cubierta, frutícola, porcina y avícola.
- Elaboración de productos caseros con insumos de la producción.
- Alta diversidad espacial y temporal de cultivos. Asocia y rota diferentes variedades y mantiene franjas de vegetación espontánea y surcos con flores de manera aleatoria o planificada, entre los cultivos.
- Preserva ambientes semi-naturales aledaños al lote cultivado. La vegetación de los mismos es muy diversa, con presencia de tres estratos y gran abundancia de la familia Asteraceae durante todas las épocas del año, y Apiaceae y Fabaceae, predominantemente durante primavera-verano. Sobre estas plantas, se encuentran gran cantidad de enemigos naturales predadores (tanto generalistas como específicos) y parasitoides, pertenecientes a los Órdenes Araneae (Clase Arachnida), Hemiptera, Coleoptera e Hymenoptera (Clase Insecta).
- La familia manifestó no tener problemas importantes de plagas ni enfermedades y que, en los casos de presencia de fitófagos, éstos generalmente no llegan a causar niveles de daño significativos según su criterio.
- Utiliza fertilizantes orgánicos e incorpora los rastrojos de cultivos anteriores al suelo. Emplea “coberturas verdes” y labranza vertical. Deja un tiempo entre una cosecha y la próxima siembra, para la preparación del suelo y la descomposición de la materia.
- No aplica insumos agroquímicos pero sí utiliza productos caseros naturales para la fertilización y el control ocasional o prevención de plagas y enfermedades.
- La mano de obra es predominantemente familiar.
- Sustentan su trabajo con maquinaria propia y variada infraestructura apropiada.

Los cambios en la práctica concreta, lejos de ser transmitidos unidireccionalmente desde el técnico hacia la familia, fueron construidos activamente por ésta, poniendo en juego su conocimiento ambiental local e interviniendo con protagonismo en espacios de intercambio de saberes, junto con el técnico de Cambio Rural Bonaerense y el resto de las familias de la Organización. Esta dinámica de trabajo posibilitó a la familia apropiarse de nuevos conocimientos, transformarlos y hacerlos práctica concreta y decisiones de manejo novedosas, acordes con un nuevo modo de producción.

Por otra parte, analizando los factores contextuales, se observa cómo las tres áreas (social, técnica y económica) traccionaron fuertemente al área productiva y apuntalaron el proceso de transición:

-En el área Social, se consolidó la organización entre todas las familias productoras y se conformó la Cooperativa de Trabajo Agrícola de Hudson y Pereyra, lo cual les permitió integrar el Proyecto “Banco Social” de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP.

-En el área Técnica, la familia productora es una de las 40 que participaron del Programa Cambio Rural Bonaerense hasta el año 2011 e integran proyectos junto a otros organismos, como la Cátedra Libre de Soberanía Alimentaria y el IPAF Región Pampeana del INTA.

-En el área económica, la familia logró insertar su producción en mercados de comercialización directa productor-consumidor y ferias. A su vez, son beneficiarios de subsidios estatales y microcréditos del Banco Social, otorgados a la CoTraHyP.

Figura 15.3. Representación gráfica de los Atributos estructurales del agroecosistema, el Conocimiento ambiental local y los Factores contextuales, (a): Resaltados en mayor tamaño aquellos que resultaron favorables al momento de iniciar el proceso de transición AE y (b): Resaltados en mayor tamaño aquellos que se fortalecieron durante el proceso de transición AE.

Figura 15.3a

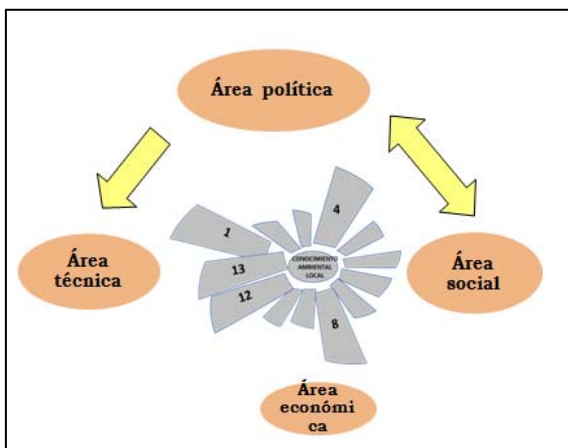
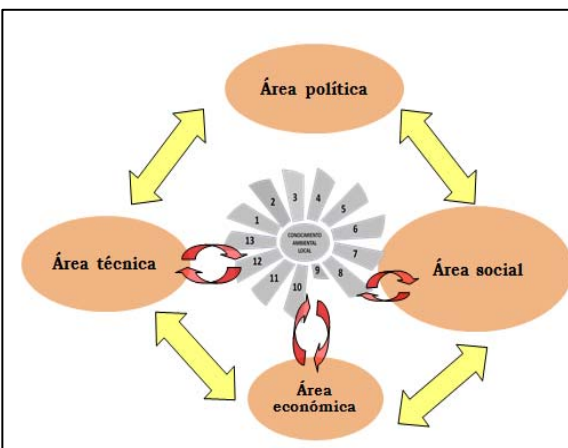


Figura 15.3b



Reflexiones (limitaciones y fortalezas)

El proceso de transición en general se ha fortalecido y se encuentra consolidado en el establecimiento de la familia productora en cuestión. Para esto, en sus comienzos fueron claves factores externos vinculados al área social (la organización de los productores) y técnica (asesoramiento con enfoque agroecológico). Estas fortalezas lograron traccionar un crecimiento del área económica y mejoras en los atributos estructurales del agroecosistema, a lo largo del proceso. Cabe mencionar que, si bien el disparador para iniciar el proceso de transición afectaba a varios establecimientos productivos del Parque Pereyra, aspectos intrínsecos de la familia en cuestión y del agroecosistema fueron claves para que pudieran transitar y consolidar el cambio operado, al tiempo que la situación fue diferente en otros establecimientos.

Ampliando la mirada para pensar una transición que abarque al resto de las familias productoras del Parque Pereyra, existen dimensiones todavía debilitadas, por ejemplo, las vinculadas al área política y económica. Si bien la

familia en cuestión logró resolver el aspecto de la comercialización de manera favorable, no existen circuitos de comercialización apropiados para que la propuesta agroecológica se haga extensiva. Ambas áreas constituyen puntos a trabajar para fortalecer el proceso definitivamente y, así, permitir su permanencia en el tiempo y su consolidación en el territorio.

Conclusiones

Un proceso de transición agroecológica implica un cambio en el modo de ver y manejar los sistemas productivos. Esto implica el desafío de generar soluciones tecnológicas en un escenario hegemónicamente adverso y, por lo tanto, la discusión y confrontación de intereses distintos y posiblemente contradictorios de los actores involucrados. En estos escenarios, en donde incluso muchos agricultores pueden ser resistentes al cambio, se podrán encontrar aspectos interesantes para avanzar en la generación de soluciones tecnológicas que apuntalen y fortalezcan el proceso de transición (Marasas *et al.*, 2012). Los procesos que se den, tanto en el nivel de finca como en el territorial, son interdependientes y se retroalimentan en forma dinámica y permanente. De lo contrario, los casos exitosos solo se entenderían como islas de experiencias locales desarticuladas y sin conexión.

Su consolidación dependerá no sólo de la generación de tecnologías apropiadas y apropiables, sino del resultado de conflictos de intereses que dinamizan los procesos de resistencia, confrontación y finalmente adaptación social (Sevilla Guzmán *et al.*, 2006).

Agradecimientos:

A José Antonio Maidana (técnico del Ministerios de Asuntos Agrarios de la Provincia de Buenos Aires y asesor de la CoTraHyP) y a la familia Krashesky, quienes brindaron sus conocimientos y experiencia.

Preguntas para el repaso y la reflexión

1. *¿Qué se entiende por transición agroecológica?*
2. *¿Por qué es necesaria?*
3. *¿Desde qué enfoque teórico se puede avanzar hacia un proceso de transición agroecológica?*
4. *¿Por qué se habla de proceso de transición agroecológica?*
5. *Si la transición agroecológica es un proceso tan complejo, ¿Hay una sola forma o receta para implementarla?*
6. *¿Cómo se hace? ¿Cuáles son los criterios a tener en cuenta para realizar o planificar un proceso de transición?*
7. *¿Cuál es la importancia de identificar y caracterizar los atributos estructurales internos del agroecosistema?*
8. *¿Podría explicar por qué, en la Figura 15.2, el conocimiento ambiental local del productor está ubicado en el centro del molino?*
9. *¿Por qué es importante considerar los factores contextuales en un proceso de transición? Elija dos de ellos y analice posibles situaciones en las que pueden potenciar y/o debilitar el proceso.*

Bibliografía citada

- Altieri M. (1997) Agroecología: bases científicas para una agricultura sustentable. Ediciones CLADES. La Habana, Cuba. 249 pp.
- Berkes F, J Colding & C Folke (2000) Rediscovery of Traditional Ecological Knowledge as Adaptive Management. *Ecological Applications* 10 (5): 1251-1262.
- Blandi ML, SJ Sarandón & I Veiga (2011) ¿Es posible evaluar la actitud hacia la conducta sustentable en horticultores de La Plata, Argentina? *Cadernos de Agroecología* 6(2) 5pp
- Blandi ML, SJ Sarandón & I Veiga (2013) La "autoeficacia", un atributo de la conducta sustentable, y su relación con un manejo sustentable en horticultores de La Plata, Argentina. *Cadernos de Agroecología* 8(2) 5pp.
- Caporal F, J Costabeber & G Paulus (2009) Agroecologia: uma ciência do campo da complexidade. Ed. Brasília MDA/SAF. 111 pp.
- Costabeber J (1998) Acción colectiva y procesos de transición agroecológica en Rio Grande do Sul, Brasil. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba, España. 421 pp.
- Cuadron M (2012) San Genaro; ciudad respetuosa de ambiente: Análisis de un proceso de Transición agroecológica en la Pampa Húmeda. Tesis de grado. Ecole des sciences politiques et sociales, Université Catholique de Louvain, Francia. 147 pp.
- Chiappe M (2002) Dimensiones sociales de la agricultura sustentable. En: Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable. Santiago J.Sarandón (editor), Ediciones Científicas Americanas. 4:83-98.
- Domínguez A (2008) El contexto cultural en la implementación de proyectos de desarrollo rural. El caso del Parque Pereyra Iraola. *Mundo Agrario*: 9 (17). 15pp

- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) (2006) Marco referencial em Agroecologia. Grupo de trabalho em agroecologia. Brasília. 74pp. Disponible en: www.embrapa.br/publicacoes/transferecia/marco_ref.pdf/view
- Gargoloff NA, C Albaladejo & SJ Sarandón (2011) La entrevista paisajística: un método para situar las prácticas y saberes de los agricultores. *Cadernos de Agroecologia* 6 (2) 5pp
- Gliessman S, F Rosado-May, C Guadarrama-Zugasti, J Jedlicka, A Cohn, V Mendez, R Cohen, L Trujillo, C Bacon & R Jaffe (2007) Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. *Ecosistemas* 16 (1): 13-23.
- González de Molina M (2012) Algunas notas sobre agroecología y política. *Agroecología* 6: 9-21.
- IPAF (Instituto para la pequeña agricultura familiar) (2010) Marco teórico para el desarrollo de la agricultura familiar. 43 pp. Disponible en: <http://www.inta.gov.ar/cipaf/inst/doc/marcoteoricopamp.pdf>. Último acceso: Enero de 2010.
- Marasas M, C Flores & SJ Sarandón (2007) Una experiencia de investigación-acción participativa con enfoque agroecológico: el caso de horticultores familiares del partido de La Plata, Buenos Aires, Argentina. *Revista Brasileira de Agroecologia* 2 (1): 492-495.
- Marasas M, V Fernandez, G Baloriani, G Cap, C Larrosa & J Rouaux (2011) Estudio de la Agrobiodiversidad en Sistemas de Producción Hortícola Familiar. Buenos Aires. Argentina. *Cadernos de Agroecologia* 6 (2) 4 pp.
- Marasas M, G Cap, L De Luca, M Pérez & R Pérez (2012) El camino de la Transición agroecológica. Ediciones INTA, Ciudad Autónoma de Buenos Aires. 90 pp.
- Nosedá C, SJ Sarandón, D Magda, N Girard, G Gonzalez & R Gorriti (2011) Lógica y saberes campesinos en dos localidades ubicadas en la zona Norte del Alto Paraná, Misiones, Argentina: aportes para la producción agroecológica. *Cadernos de Agroecologia* 6 (2) 5pp.
- Pérez M (2010) Horticultura de base ecológica en el cordón bonaerense sur. Una aproximación desde sus prácticas. Tesis Magíster Scientiae en Procesos Locales de Innovación y Desarrollo Rural (PLIDER). Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, Argentina. 130 pp.
- Saini E & A Polack (2000) Enemigos naturales de los trips sobre flores de malezas. *RIA. INTA* 29 (1): 117-123.
- Sarandón SJ (2002) Agroecología: El camino hacia una agricultura sustentable. Sarandón SJ Ed, Ediciones Científicas Americanas, La Plata. 557pp.
- Sevilla Guzmán E, G Ottmann & M González de Molina (2006) Los marcos conceptuales de la Agroecología. En: *Agroecologia: Conceitos e Experiências*. Orgs. MAB Figueiredo, JRT Lima, Ed. Bagaço, Recife. pp.101-156.
- Toledo V, E Boege & N Barrera-Bassols (2010) The biocultural heritage of México: an overview. *Landscape* 3: 6–10.

CAPÍTULO 16

EL CASO DE “LA AURORA”: UN EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL ENFOQUE AGROECOLÓGICO EN SISTEMAS EXTENSIVOS DEL SUDESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES, BENITO JUÁREZ, ARGENTINA

Eduardo O. Cerdá, Santiago J. Sarandón y Claudia C. Flores

Introducción

Durante mucho tiempo, el modelo de producción de la región Pampeana Argentina (y también de la Región del Sudeste de la Provincia de Buenos Aires) se caracterizó por la alternancia entre agricultura y ganadería. Los cultivos agrícolas, extractivos y exportadores de nutrientes, alternaban con un ciclo de ganadería pastoril que conducía a la obtención de un promedio de aproximadamente 12 productos diferentes por ciclo agrícola-ganadero.

El productor medio de la zona del Sudeste de la Provincia de Bs. As sembraba cultivos de invierno como el trigo, avena y cebada y cultivos de verano como el girasol y maíz. La ganadería de cría bovina (para producir terneros o continuar su ciclo hasta la terminación del novillo) era un complemento de la agricultura que tenía como funciones (además de generar un producto) aprovechar los rastrojos y disminuir las malezas, entre otras.

De esta forma, el productor integraba estas actividades, transformando toda la biomasa en productos procesados en forma natural por el ganado (como materia fecal y heces) lo que permitía recomponer algunos procesos ecológicos mediante la transformación y generación de materia orgánica, derivada de la siembra de pasturas de gramíneas y leguminosas.

Sin embargo, una supuesta mayor rentabilidad y la falta de comprensión de los servicios ecológicos que prestaba la ganadería pastoril (ver Capítulo 3),

provocó una marcada agriculturización en la región. Se reemplazaron actividades ganaderas por actividades agrícolas altamente dependientes de insumos (debido al aumento de la fragilidad del sistema productivo) y con niveles crecientes de toxicidad tanto para el hombre, como para el agroecosistema y el ambiente.

Los costos se incrementaron por el mayor uso y valor de los principales insumos. Asimismo, este cambio en el modelo productivo provocó la expulsión de los productores e escala intermedia de tipo familiar en la Región.

En este contexto, desde el año 1997, se comenzó, en un sistema familiar agrícola ganadero del Partido de Benito Juárez (provincia de Buenos Aires), un proceso de transición hacia un sistema más sustentable, de base ecológica. Se consideró que el enfoque de la Agroecología era adecuado para lograr este cambio.

La aplicación de las bases de la Agroecología al manejo de sistemas extensivos de clima templado no es algo sencillo. La literatura agroecológica abunda en ejemplos de sistemas intensivos de menor superficie y, en general, de climas más cálidos. Sin embargo, la Agroecología es más que una serie de técnicas (ver Capítulo 2). Su potencial se basa en entender y aplicar los principios ecológicos subyacentes adaptándolos a diferentes sistemas, teniendo en cuenta sus posibilidades y limitaciones. El objetivo de este Capítulo es analizar esta experiencia y discutir la validez de los principios de la Agroecología para sistemas extensivos de clima templado.

El contexto: las consecuencias del proceso de agriculturización en la Región Sudeste de la Provincia de Buenos Aires

Consecuencias socio-económicas

El incremento de la dependencia de insumos y el aumento constante de su precio provocó un incremento del costo de producción de los diferentes cultivos. En algunos casos, la inversión por parte de los productores se cuadruplicó, no así

los rendimientos logrados. Esto disminuyó los márgenes brutos. Por ejemplo, el costo de producción de una hectárea de trigo pasó de US\$ 100 en 1990 a US\$ 200 en 1999 y a US\$ 434 en el 2013 (Figura 16.1).

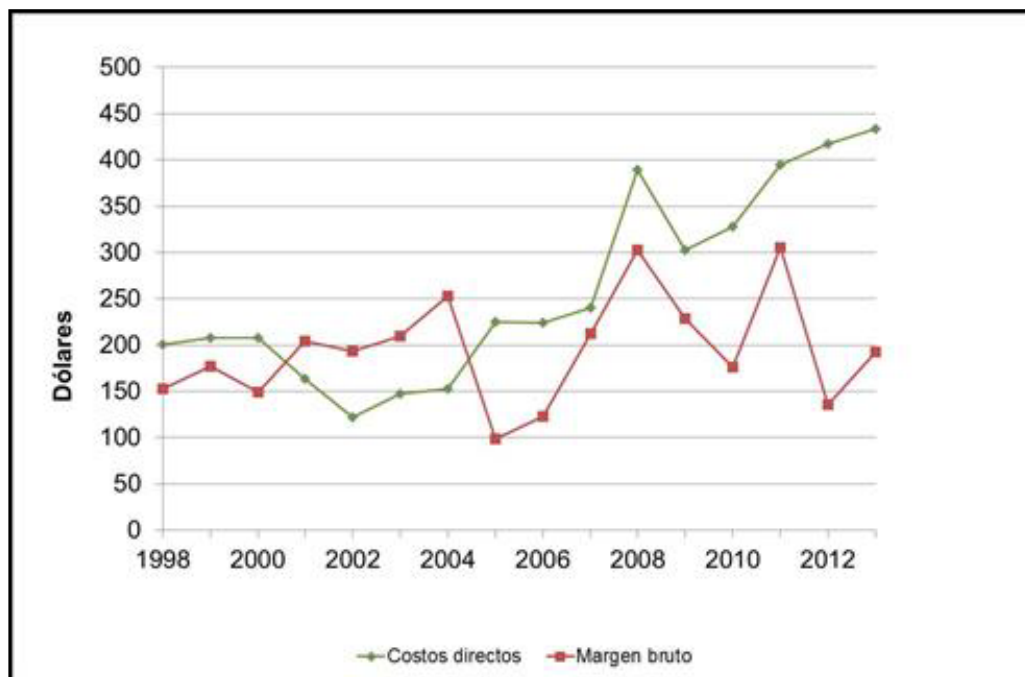


Figura 16.1: Evolución, durante el período 1998-2012, del costo directo y de los márgenes brutos para el cultivo de trigo (rendimiento 3500 Kg/ha) en el sudeste de la Provincia de Buenos Aires

La búsqueda permanente de incrementos en los rendimientos (bastante aleatorios, por cierto) condujo a un mayor ajuste técnico y/o a un aumento en capital e insumos para alcanzar los resultados que “prometía” la nueva tecnología. Los productores con poco acceso al capital quedaron rezagados y terminaron desvinculándose de su actividad. La disminución de establecimientos agropecuarios en la zona, en el período 1988-2010, fue cercana al 50%.

Consecuencias ecológicas

La búsqueda permanente de mayores márgenes brutos teóricos condujo a la disminución de la superficie sembrada de muchos cultivos y a un planteo de “casi” un monocultivo de trigo/cebada, soja.

Esto provocó el desplazamiento de otros cultivos de menor rentabilidad pero que cumplían otros roles en la rotación agrícola ganadera, como mejorar los balances de nutrientes y aumentar la diversidad biológica y económica. Estos cambios agrícolas alteraron el ciclado de nutrientes, y provocaron una disminución de la materia orgánica y el fósforo, componentes vitales para mantener la fertilidad del suelo y en la retención de agua.

A su vez, el desequilibrio causado por el monocultivo provocó un incremento de enfermedades foliares y aparición de nuevas plagas (como babosas, caracoles, entre otras) (ver Capítulos 10 y 12). Por otra parte, los insumos utilizados (cada vez con más frecuencia e intensidad) para mantener los rendimientos, de alta solubilidad, favorecen la lixiviación, con su consecuente peligro de contaminación para el ambiente (ver Capítulo 1).

Este uso permanente e indiscriminado de insumos, generó una alta presión de selección sobre malezas y plagas (ver Capítulo 6) incrementando el riesgo para la salud de los trabajadores rurales (por su manipulación) y la generación de residuos (por el aumento de la acumulación de envases) (ver Capítulo 1).

La propuesta del nuevo modelo productivo en la Región del Sudeste de la Provincia de Buenos Aires no sólo no pudo cumplir con su promesa de disminución en el uso de insumos sino que incremento el uso de los mismos, deteriorando la capacidad económica de los productores, excluyendo a muchos de ellos y provocando un impacto negativo sobre el ambiente.

En este contexto, el Sr. Juan Kiehr, productor familiar del Partido de Benito Juárez y propietario del establecimiento “La Aurora” inicia, en el año 1997, bajo el asesoramiento técnico del Ing. Agr. Eduardo Cerdá, un proceso de reconversión

agroecológica con el fin de satisfacer una serie de objetivos planteados por el propio productor:

- Tener estabilidad productiva y económica: “*tranquilidad*” (disminuir los sobresaltos).
- Bajar los costos, disminuir el uso de insumos.
- Evitar el uso y la manipulación de productos tóxicos, por el riesgo que tienen tanto para su familia y la gente que trabaja con él, como para el ambiente.
- Estabilizar la producción, lograr un ingreso que le permita mantener el nivel de vida de su familia y empleado.
- Mantener el campo igual o mejor de lo que le dejaron sus padres.

El establecimiento “La Aurora”: sus características

El establecimiento “La Aurora”, se encuentra a 400 Km. en el sudeste de la Provincia de Buenos Aires (Figura 16.2). El clima de la zona es mesotermal húmedo (templado), con un promedio de lluvias de 841 mm. con un promedio de 200 días con probabilidad de heladas (que comienzan en abril-mayo y finalizan los primeros días de noviembre).

La zona donde se encuentra el campo es de actividad mixta (agrícola y ganadera). El cultivo más importante en la zona es el trigo, (aunque en estos últimos años fue desplazado por la cebada por problemas de comercialización) seguido por soja, girasol y maíz. Otros cultivos de menor importancia son la avena, el sorgo y la moha. Los suelos son variados y con disímil capacidad productiva. Los de menor aptitud se dedican a la cría de ganado bovino y los suelos de aptitud intermedia a buena se dedican a la agricultura.

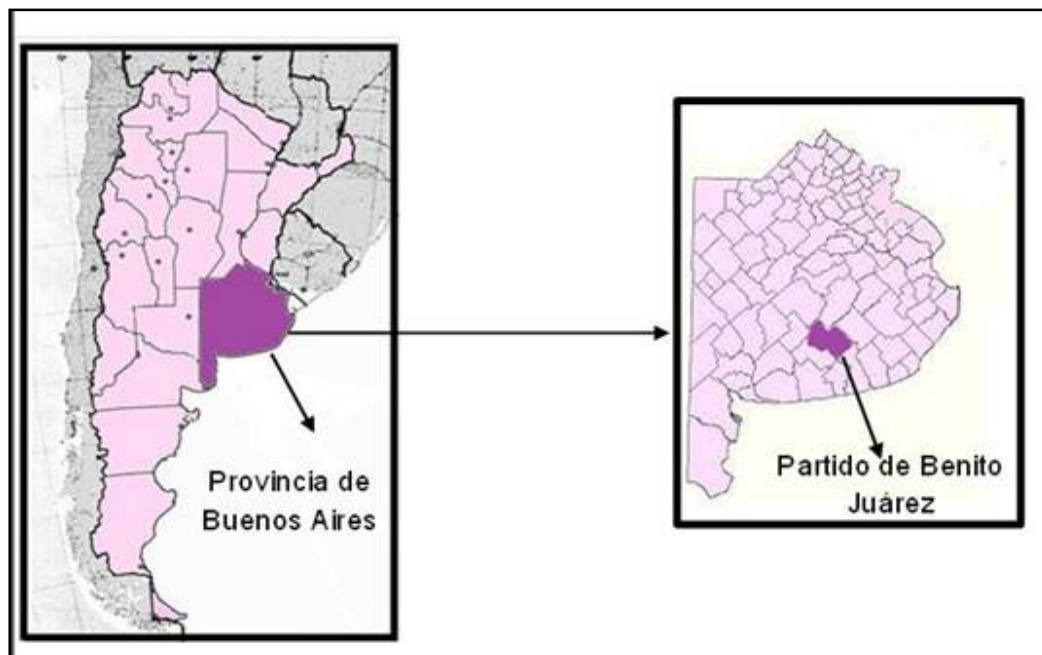


Figura 16.2: Ubicación geográfica del Partido de Benito Juárez

El establecimiento es de tipo familiar tiene una superficie de 650 has totales de las cuales 186 has corresponden a “bajos”, 152 has a cerros y 297 has a suelos agrícolas.

Al comienzo de la transición, la producción se realizaba bajo el modelo convencional y se realizaba fundamentalmente trigo y girasol junto con ganadería bovina de cría.

El proceso de reconversión agroecológica: estrategias

Para lograr los objetivos propuestos por el productor se trató de abordar y entender el funcionamiento del agroecosistema, con una mirada sistémica y

holística del establecimiento tal como lo propone el enfoque de la Agroecología (ver Capítulo 2).

Se analizaron, mediante la aplicación del enfoque de sistemas (ver Capítulo 4) qué factores se usaban (componentes), cómo se interrelacionaban (arreglo de componentes) cuáles eran los insumos que provenían desde el exterior (entradas) y que productos se vendían (salidas), así como también la existencia de posibles externalidades (Figura 16.3). El análisis de las entradas (tipo y origen) permitió plantear una serie de estrategias para avanzar en su disminución (Tabla 16.1).

Insumos externos (entradas)	Estrategias
Combustible (gas oil)	Disminuir las labores
Nitrógeno	Incorporarlo biológicamente a través de leguminosas, en policultivos
Fósforo	Aportarlo a través de derivados de la industria molinera local
Semillas	Cosechar semillas propias, cuando fuera posible
Herbicidas	Evitar dejar “nichos” vacíos (recursos disponibles), a través de la mejora en la competencia y las secuencias de cultivos
Fungicidas	Fortalecer la “salud” del suelo
Insecticidas	Aumentar la diversidad funcional y proteger a los benéficos, a través de la generación de ambientes que brinden alimentación, refugio y lugares de oviposición a lo largo del año.

Tabla 16.1: Estrategias planteadas para lograr la disminución en el uso de insumos externos en el establecimiento “La Aurora”

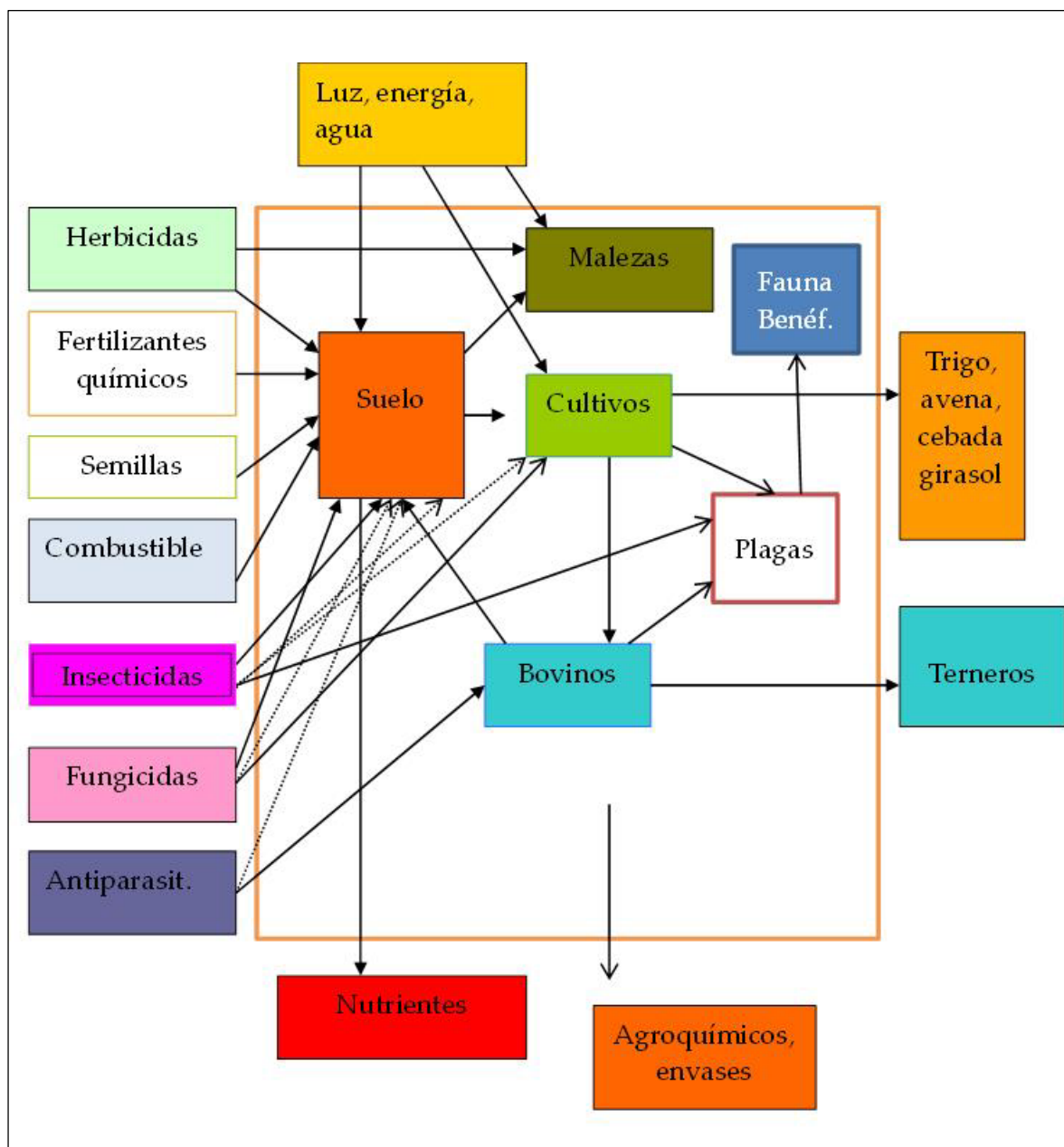


Figura 16.3: Esquema del funcionamiento del sistema "La Aurora" al inicio del proceso de reconversión agroecológica. En líneas punteadas se grafican los destinos no deseados para las entradas al sistema

Acciones llevadas a cabo

Para alcanzar los objetivos se llevaron adelante las siguientes acciones:

Combustibles: se puso mucho énfasis en utilizar la menor cantidad de labores posibles (las cuales están asociadas, mayoritariamente, a la preparación de la cama de siembra y el desmalezado) usando labores de tipo vertical (cincel, cultivadores) y últimamente siembras al voleo en algunos cultivos (avenas para pastoreos).

Semillas: se avanzó en la cosecha de semilla propia en la mayoría de los cultivos (excepto el sorgo).

Herbicidas: durante los primeros años se realizaron tratamientos con herbicidas en forma “estratégica”: sólo se aplicaba en el cultivo de trigo y el resto de los lotes se manejaba con desmalezado por animales o con máquina desmalezadora.

Se decidió dejar de producir girasol (por ahora) por el alto uso de herbicidas que implicaba su cultivo. Además, el productor percibía, al aplicar herbicidas preemergentes, que la capa superficial del suelo se deteriorara (tomaba aspecto de polvo) hecho que lo desanimaba a seguir con ese cultivo.

A medida que el proceso avanzaba, se trabajó la idea de *nicho-competencia-recursos* (ver Capítulos 9 y 11): los recursos no tenían que quedar “disponibles” para las malezas. Para eso, había que aumentar la captación de esos recursos mediante la consociación de especies que superpusieran sus nichos de manera parcial, para minimizar la competencia y favorecer la complementariedad en el uso de los recursos. Se utilizaron policultivos que consistieron en la mezcla de un cereal con una leguminosa como cultivo acompañante: en los cultivos de invierno se intersembró trébol rojo (*Trifolium pratense* L.), leguminosa de baja competencia con el cereal y que puede utilizar los recursos disponibles no aprovechados por el cultivo principal.

Durante el crecimiento del cereal la leguminosa desarrolla poco, pero, cuando el cultivo se acerca a su etapa de madurez y entra en senescencia, deja

pasar la luz, no consume mucho agua y nutrientes y permite el inicio del crecimiento activo de la leguminosa. Una vez cosechado el cultivo principal el trébol cubre totalmente el suelo. La leguminosa permanece en los lotes por dos años. Se utiliza para fines ganaderos pero se evita el sobrepastoreo para mantener una alta cobertura que impida el desarrollo de las malezas existentes y el incremento del banco de propágulos (ver Capítulo 11).

El uso continuado de este esquema de policultivo, tal como se esperaba, permitió una disminución importante de las malezas en el sistema.

Fungicidas y enfermedades: se trabajó teniendo en cuenta la teoría de la trofobiosis (ver Capítulo 10) y el uso de la biodiversidad (ver Capítulo 5 y 13). Para mejorar la nutrición de los cultivos resultó muy importante el aporte de materia fecal y orina que hace el ganado. Se trabajó para lograr una distribución uniforme de deposiciones en los lotes dado que, en general, éstas se concentran en las cercanías de las aguadas. Para ello, se mejoró la división de los lotes y se trasladaron las aguadas al centro de los lotes para que las deyecciones se distribuyan en forma radial en sentido a la bebida. Con estas acciones se mejoró mucho la distribución de bosta (heces) y orina en los lotes.

A estas acciones se le sumó la incorporación de granos y expeler (subproducto de la molinería local) en la suplementación, que aportan energía y numerosos nutrientes al sistema, para evitar los típicos desbalances que genera una fertilización del tipo industrial basada prácticamente en dos o tres nutrientes.

Se consideró de suma importancia comenzar a reconstruir los debilitados procesos biológicos del suelo, brindando las condiciones propicias para el desarrollo de los organismos del suelo involucrados en el ciclado de nutrientes. Se buscó una producción alta y variada de biomasa en todos los lotes a lo largo del año a través del uso de policultivos. Asimismo, se mantuvo una cobertura permanente del suelo a través de un pastoreo con menor carga animal para proteger a los organismos de suelo de las insolaciones, las bajas temperaturas y la desecación mejorando su “confort”. Se evitó el uso de agroquímicos para

disminuir la agresión que genera el uso de sustancias tóxicas para este componente fundamental del subsistema suelo.

A su vez, se intentó fomentar el proceso de humificación y disminuir el proceso de mineralización evitando cultivos de poco volumen de rastrojo, como la soja o el girasol, con el objetivo de incrementar la materia orgánica y con ello mejorar la estructura, los nutrientes disponibles, la porosidad y la retención de agua.

Insecticidas y antiparasitarios: se dejó de utilizar insecticidas en los cultivos, por considerarlo muy perjudicial para todo el sistema. La diversidad de cultivos que se realizan, la presencia de cierto nivel de vegetación espontánea en los lotes de cultivo y en los bordes y ambientes seminaturales, y el gran porcentaje de lotes que están más de un año sin remover, permite que los organismos benéficos tengan reparo, sitios de oviposición y alimento durante todo el año. Esto favorece una población más diversa que permite mantener a las plagas en niveles poblacionales no perjudiciales para los cultivos (ver Capítulo 10: mecanismos Top Down).

Otro punto importante fue disminuir el uso de desparasitarios a base de ivermectinas (sólo se utilizan en caso de emergencia), por su influencia negativa sobre los ciclos de artrópodos benéficos (Iglesias *et al.*, 2005).

Balance de nutrientes: para disminuir la salida de nutrientes, y considerando que la producción ganadera extrae menos nutrientes del sistema que la producción agrícola (200 Kg. carne/ha extraen menos que 3000 Kg de cereal) se decidió completar el ciclo ganadero, haciendo la cría e invernada de toda la producción, hasta llegar al engorde del novillo, con un novillo pesado de tipo exportación. Asimismo, se decidió ampliar la superficie con cultivos de invierno (que son más seguros en la zona) incorporando la cebada al planteo inicial de trigo y avena. Todo la avena y cebada producida se destina a la suplementación del ganado, de esa manera se evita la salida de granos con alto porcentaje de materia seca para transformarlos, en parte, en materia orgánica (bosta y orina). Se considera al animal como un gran transformador de materia orgánica (granos)

material enriquecedor del proceso de humificación del suelo. Esto disminuyó mucho la salida de nutrientes del sistema.

Balance de nitrógeno: para mejorar el balance de nitrógeno resultó fundamental comenzar a realizar los cultivos de cereales (trigo, cebada y avena) consociados con leguminosas (Fotos 16.1 y 16.2) (Anexo 16.1).

A través del trébol rojo se incorpora nitrógeno por fijación biológica, la que se estima en más de 100 Kg/ha año. Este cultivo se comporta como bianual, evitando la remoción de suelo al año siguiente y la fijación de dos años consecutivos de nitrógeno. También se logra una excelente producción de forraje en el verano, otoño y primavera.

Anexo 16.1

El policultivo de cereales y trébol rojo se realiza con las mismas labores, se siembra en la misma fecha y en la misma pasada.

Esta asociación permite que el cultivo principal se desarrolle con normalidad mientras que la leguminosa va creciendo despacio por debajo del cultivo. Si el año “viene muy bueno” puede haber un desarrollo mayor de la leguminosa al final del ciclo. En ese caso, la cosecha del cereal se realiza hilerando (cortando y dejando en hileras con una máquina llamada hileradora) el cultivo para que se seque toda la biomasa. En estos casos es seguro que el forraje será abundante y de excelente calidad durante los meses siguientes de verano y otoño.

Algunas veces se realiza una cosecha del trébol rojo para lograr semilla propia y de haber excedentes se vende dado que tiene un muy buen precio, generando un ingreso extra (del orden de los 50-60 Kg. de semilla por hectárea).

Balance de fósforo: Para equilibrar el balance de fósforo la salida en los productos se restituye a través de la suplementación con subproductos de la industria molinera (expeler de trigo), abundante y accesible en la zona, que tiene un contenido de fósforo de aproximadamente 1,5%.

Balance de carbono: Se incorporó el sorgo, porque presenta una serie de ventajas: rápido crecimiento, gran capacidad de producción y fijación de carbono, alta resistencia a la sequía, raíces muy potentes que exploran en profundidad generando canales de drenaje (cuando el cultivo termina su ciclo, serán alimento para los organismos del suelo) y alta producción de material verde). Esto permitió, además, concentrar en el verano a todas las categorías de hacienda en los lotes

de sorgo, posibilitando el descanso del resto de los lotes del campo, logrando mucha cobertura del suelo y protección del impacto del sol y de las altas temperaturas.



Foto 1: Policultivo trigo-trébol rojo en etapa de implantación



Foto 2: Policultivo trigo-trébol rojo después de la cosecha del cultivo de trigo

Los resultados obtenidos

La aplicación del enfoque de la Agroecología en el establecimiento “La Aurora” permitió generar un manejo totalmente diferente al manejo convencional de la zona (Tabla 16.2) y una modificación sustancial del funcionamiento del sistema en relación a la situación del mismo al inicio del proceso (Figura 16.4).

Manejo convencional	Manejo agroecológico
Alta proporción de cultivos transgénicos, pocos cultivos en el esquema de rotaciones, (predominio de trigo soja de segunda).	Rotación con cultivos de gramíneas y leguminosas. Predominio de producción ganadera.
Cultivos con rastrojos pobres en cantidad y calidad (Ej. Soja)	Aumento de la superficie con cultivos C4. Mayor eficiencia en el uso del agua. Alta fijación de carbono y nitrógeno
Barbechos químicos con supresión total de vegetación espontánea en lotes de producción y zonas aledañas	Las malezas, en los cultivos se controlan con manejo y competencia (policultivos), se admite cierta presencia de malezas. En los lotes de producción ganadera, el control se realiza a través del pastoreo. No se controla la vegetación espontánea de las áreas aledañas para proteger a la fauna benéfica.
Desplazamiento de la mano de obra por máquinas de mayor ancho, de alto costo. Pocas horas de mano de obra por hectárea	Los procesos de producción con elevado uso de mano de obra (Ej. invernada con suplementación de productos de origen local).
Alto y creciente uso de herbicidas, insecticidas y fungicidas.	Disminución en el uso de productos que afecten los ciclos de descomposición de la materia orgánica. Estimulación de los ciclos biogeoquímicos agregando fuente de energía natural (suplementos), mejoramiento en la distribución de rollos de forraje y aguadas para el ganado.
Gran utilización de insumos industriales que requieren alta demanda de energía para su producción (Ej. Fertilizantes de síntesis química)	Reposición de nitrógeno a través de la fijación biológica y del fósforo con suplementos orgánicos de producción local.
Gran exportación de nitrógeno, fósforo y otros elementos.	Los residuos de cosecha son utilizados por los animales como parte del reciclado de nutrientes. Ciclos más cerrados.

Tabla 16.2: Comparación del manejo convencional en la zona vs. el manejo agroecológico (Cerdá & Sarandón, 2011 modificado)

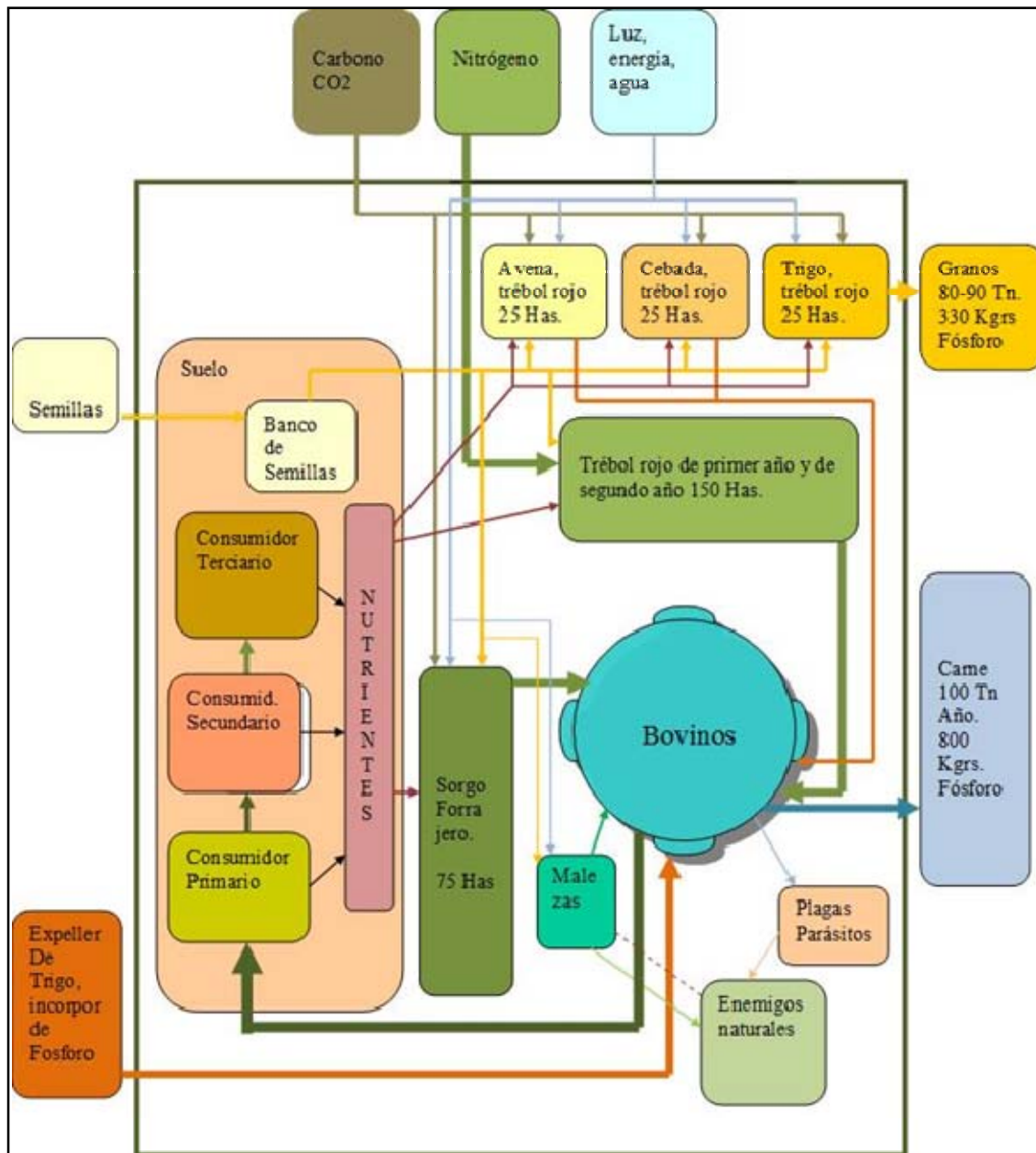


Figura 16.4: Esquema del funcionamiento del sistema "La Aurora" luego de 17 años de reconversión agroecológica

Resultados ganaderos:

El “stock” de animales aumentó en los últimos años y disminuyó el número de cabezas vendidas debido a que se están comercializando animales de mayor peso como consecuencia de un engorde más eficiente. La producción se estabilizó en 95 Ton por año (Figura 16.5).

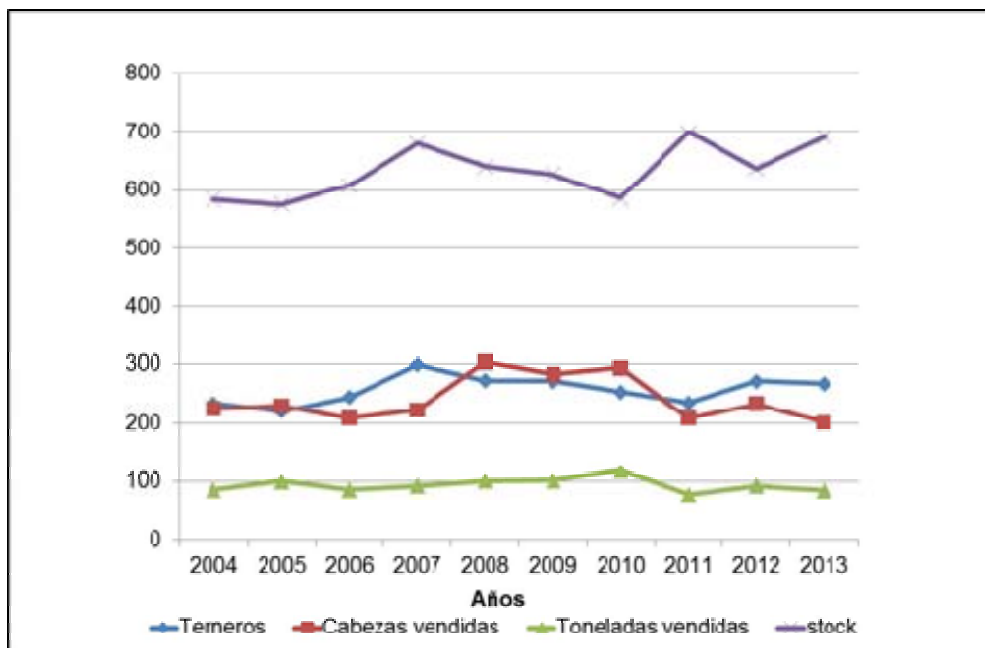


Figura 16.5: Evolución anual del stock, número de terneros, número de cabezas vendidas y toneladas vendidas en el período 2004-2013. Establecimiento “La Aurora”. Benito Juárez. Argentina

Se ha alcanzado una altísima estabilidad en la producción de carne. Esto quedó demostrado durante la mayor sequía de los últimos 70 años (2008-2009) durante la cual no se registraron pérdidas de productividad en el establecimiento mientras que en la zona se perdieron alrededor de 15000 cabezas.

Asimismo, se incrementó la receptividad ganadera de los lotes bajos que pasaron de 0,75 EV (equivalente vaca) a 0,92 EV en los últimos 5 años. Esto fue producto de las mejoras efectuadas en dichos lotes mediante el aporte de materia

orgánica (forraje deshidratado en forma de rollos) concentrando la hacienda para aumentar la cantidad de bosta (heces) y orina por parte de los animales.

En estos lotes, se observó un aumento sostenido de la receptividad ganadera, a pesar de la disminución de las precipitaciones, lo que señala una mejor estabilidad y resiliencia del sistema. La adopción del ciclo completo de producción cría-invernada con suplementación generó una nueva y mayor ocupación del personal.

Resultados de la producción de trigo

Los rendimientos no difieren significativamente de los obtenidos en los sistemas convencionales de la zona, (en la comparación de 13 años la diferencia es de apenas 240 Kg/año a favor de los convencionales) (Figura 16.6).

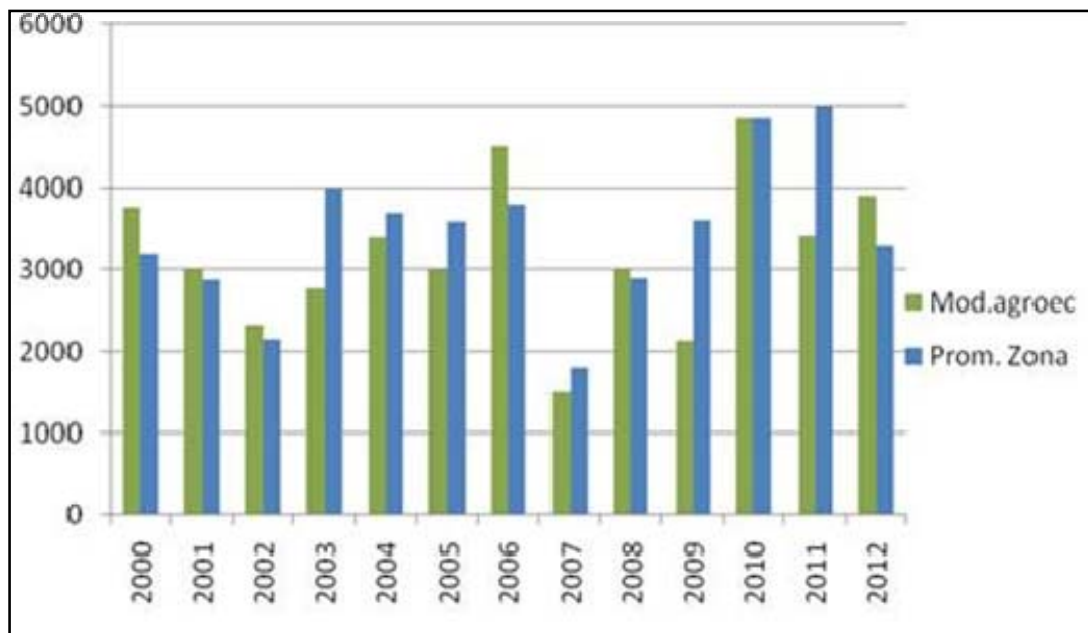


Figura 16.6: Rendimiento promedio anual del cultivo de trigo (en Kg/ha) para la zona Sudeste de Buenos Aires y rendimientos obtenidos en el establecimiento “La Aurora” en el período 2000-2012

En años difíciles, el trigo tuvo un rendimiento similar a los cultivos altamente tecnificados de la zona y, en años buenos, los rendimientos fueron muy buenos, con mejores indicadores económicos (Figura 16.7) y menores costos energéticos y ambientales.

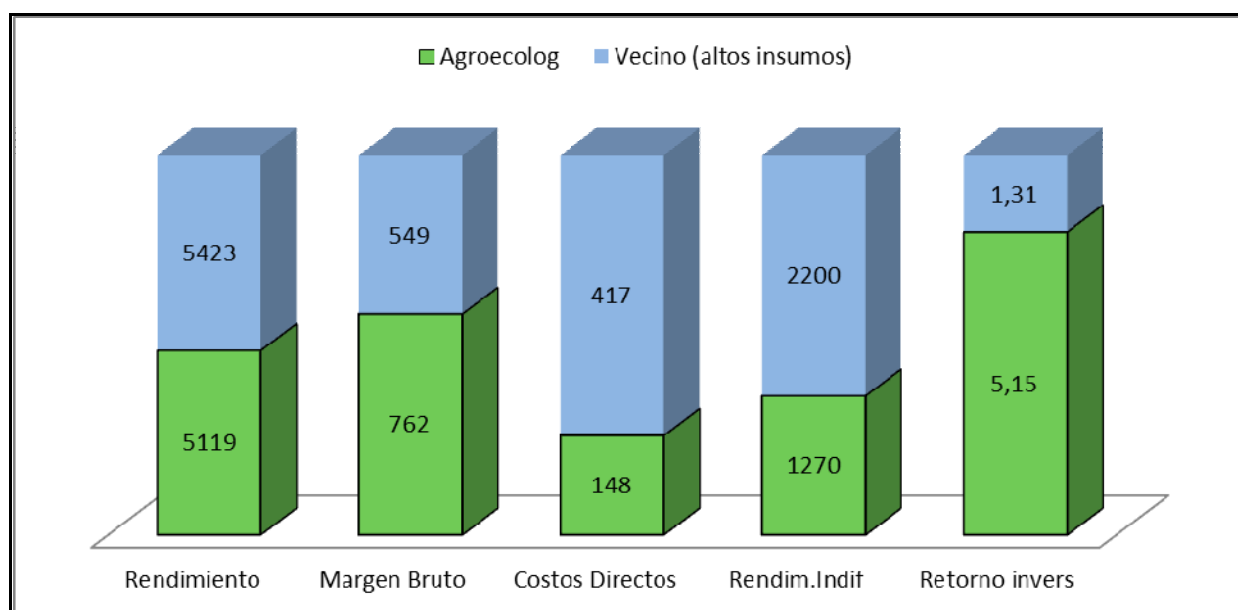


Figura 16.7: Rendimiento, margen bruto, costos directos, rendimiento de indiferencia y retorno de la inversión para el cultivo de trigo en la campaña 2013-2014 en el establecimiento "La Aurora" y en un campo vecino con manejo convencional

La fertilización biológica, resultado de su consociación con trébol rojo, reemplazó la habitual fertilización con urea, disminuyendo el uso de insumos y energía.

Resultados del análisis del suelo

Parámetros físicos químicos del suelo

El manejo agroecológico, mejoró la calidad del suelo. Se mantuvo un nivel de porosidad similar al sistema prístino y mucho mayor que sistemas trabajados en forma convencional (Tabla 16.3). El manejo agroecológico mejoró la estructura del suelo y, en especial, el nivel de macroporos, que mejora la acumulación de agua.

El fósforo disponible, por su parte, se ha mantenido en valores muy altos y notablemente mayores que los lotes trabajados de manera convencional.

Sitio-lote	Situación	pH	Densidad aparente	Porosidad	Fósforo Disponible (ppm)	Materia Orgánica (Porcentaje)
Agroecológico	Sorgo-trigo/trébol-trébol rojo	6,6	1,02	61,5	51,8	7,2
Prístino	Sin perturbar	5,8	1,00	62,26	211,6	8,3
Convencional (vecino)	Trigo o cebada-soja	6,4	1,17	55,85	11,7	7,0

Tabla 16.3: *Parámetros físico químicos del suelo (pH, densidad aparente, porosidad, fósforo disponible y materia orgánica) tomados a una profundidad de 0-20 cm en 3 sitios diferentes: un lote con manejo agroecológico, un lote con el esquema convencional predominante y un lote prístino*

Parámetros biológicos

El análisis de la macro y meso fauna del suelo (a través de la metodología de embudos de Berlese), tomada en tres sitios con distinto manejo (agroecológico, prístino y convencional) mostró que la proporción de clases, familias u órdenes de microorganismos varió con el manejo (Figura 16.8). Bajo manejo convencional (monocultivo cebada-soja) se encontró un menor número de familias y de funciones. Una sola de ellas (Diplopoda) está relacionada con el proceso de transformación de los rastrojos, lo que implica un riesgo dado que, si por algún

cambio, esta familia se viese afectada disminuirían las posibilidades de descomposición en dicho sitio.

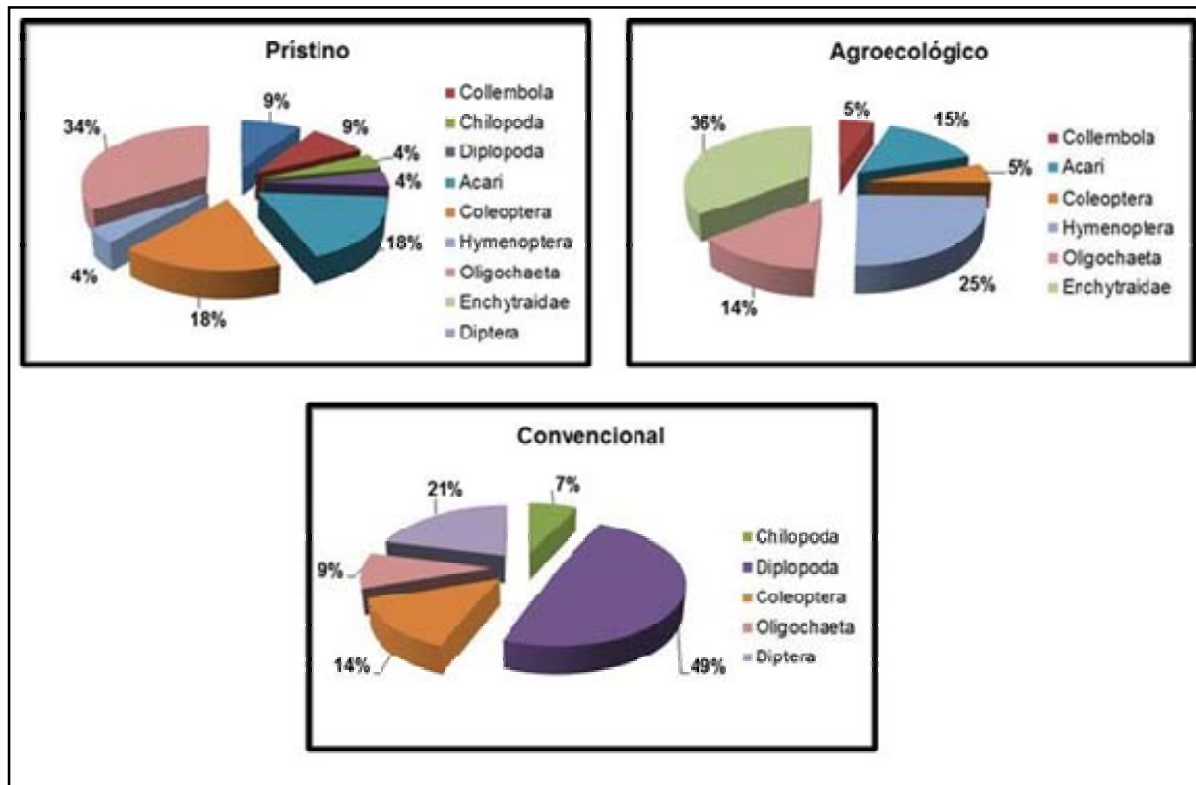


Figura 16.8: Proporción de órdenes y familias de la meso y macrofauna del suelo encontrada en sitios con distinto tipo de manejo (prístino, agroecológico y convencional). Elaboración propia en base a datos de Carrasco & Zamora (2012)

La mayoría de las familias presentes en el manejo convencional, tienen un carácter de tipo oportunista.

En el lote con manejo agroecológico, se observó una menor afectación de familias. Aparece una familia que no está presente en los otros dos sitios: la familia de los Enchytraeidos, que tiene actividad particular sobre el ciclado del fósforo. Esta podría ser, entre otras, una de las causas del fuerte aumento en el fósforo disponible en el establecimiento “La Aurora”

Resultados sobre la biodiversidad

En muestreos realizados con trampas de red, confirmó que en el sistema con manejo agroecológico había más individuos de especies benéficas dentro de los lotes que en los ambientes seminaturales (borduras o lugares reparados como los alambrados). En los campos con manejo convencional los datos fueron inversos (pocas especies benéficas en los lotes y un aumento en los lugares sin trabajar). Esto impulsó al productor a aumentar y conservar gran parte de los ambientes seminaturales del establecimiento con el objetivo de aumentar la diversidad biológica y mejorar sus funciones ecológicas para disminuir la influencia de plagas (ver Capítulo 10).

El aumento de la biodiversidad general del campo, se tradujo en beneficios brindados por los servicios ecológicos que esta provee, como ser hábitat de vida silvestre. Se observó una mayor presencia de algunas aves, que se tradujo en una mayor satisfacción del productor, que manifiesta que este manejo lo hace sentir útil a la sociedad, le genera “ganas” y le permite vivir muy bien disfrutando sus logros, los hermosos paisajes del campo, permitiendo un espacio a la fauna del lugar que valora, dado que tiene que ver con su historia y que comparte junto a su familia.

Reducción en el uso de insumos

El manejo agroecológico, al fortalecer los procesos ecológicos, permitió disminuir el uso de insumos y energía de tipo industrial (Figuras 16.9 y 16.10).

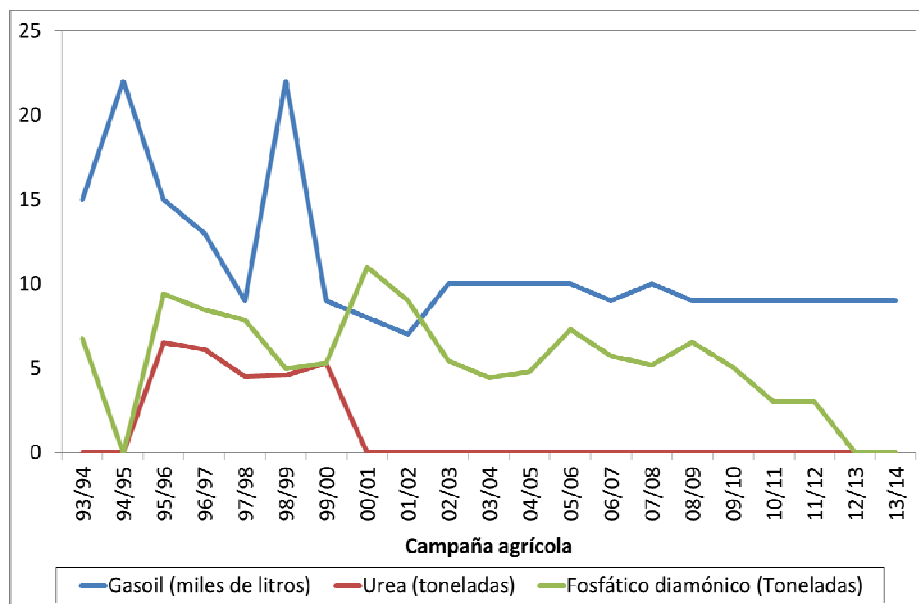


Figura 16.9: Evolución del uso de insumos en el establecimiento “La Aurora” durante el período de transición agroecológica

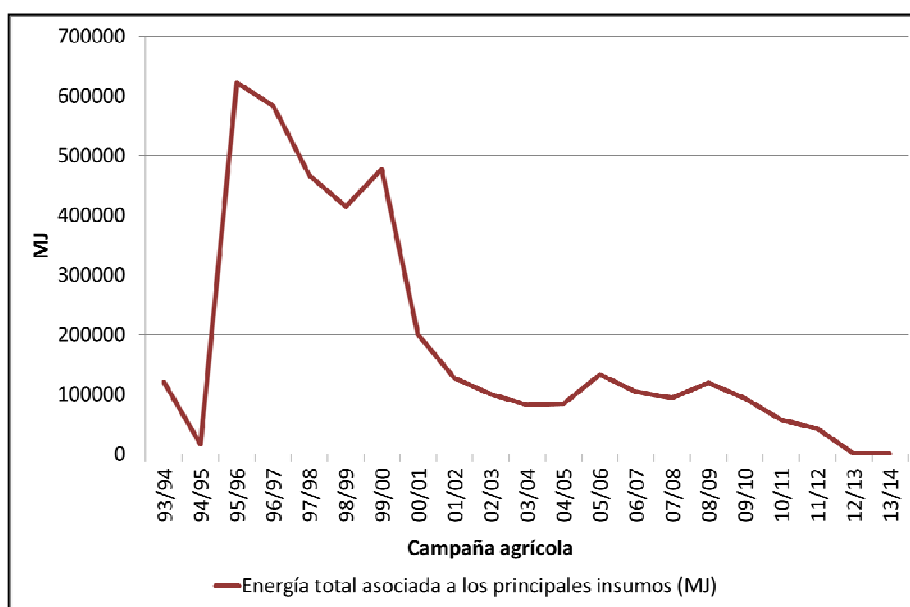


Figura 16.10: Evolución del uso de insumos derivados de energía fósil en el establecimiento “La Aurora” durante el período de transición agroecológica

Resultados económicos

Los cambios en el funcionamiento del Agroecosistema tuvieron consecuencias económicas. El modelo agroecológico mantuvo estables los costos mientras que el modelo convencional, predominante en la zona, al depender de insumos externos, tuvo costos que se incrementaron constantemente entre los años 1990 y 2012 (Figura 16.11). En todos los años, el sistema agroecológico tuvo costos menores de producción que el convencional.

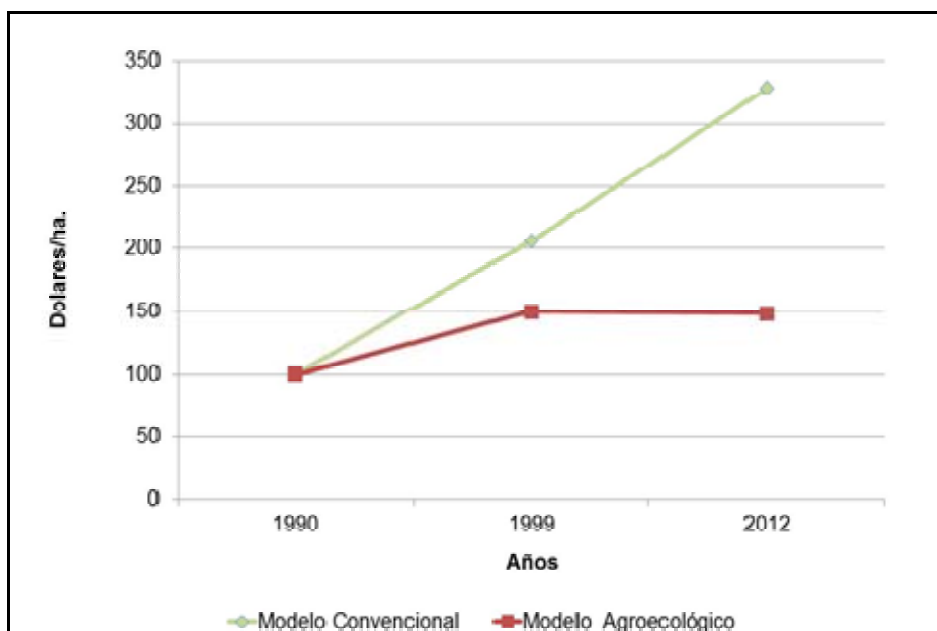


Figura 16.11: Evolución del costo por hectárea de trigo en sistemas convencionales y en el establecimiento “La Aurora” (modelo agroecológico) en el período 1990-2012

Además, el productor que optó por el sistema agroecológico arriesgó menos capital. En el modelo agroecológico, el margen bruto para el cultivo de trigo se mantuvo estable a lo largo de los años mientras que, en el modelo tecnológico convencional, en el mismo período, se observó una disminución del margen bruto

(Figura 16.12). En consecuencia, el rendimiento de indiferencia (rendimiento en el que el ingreso se iguala a los costos) ha crecido constantemente en el período considerado para los establecimientos que optan por el modelo tecnológico predominante (Figura 16.13). Es decir, los productores convencionales cada vez necesitan tener un mayor rendimiento en sus cultivos (algo no sencillo de lograr) para poder pagar los costos crecientes. En cambio, este productor, con muy poco rendimiento, logra pagar los costos y, por encima de ellos, obtener importantes ganancias.

El modelo agroecológico, a diferencia del modelo convencional permitió una estabilización de los costos (en valores menores a los de los sistemas convencionales), una estabilización de los márgenes brutos y un menor riesgo económico para el productor.

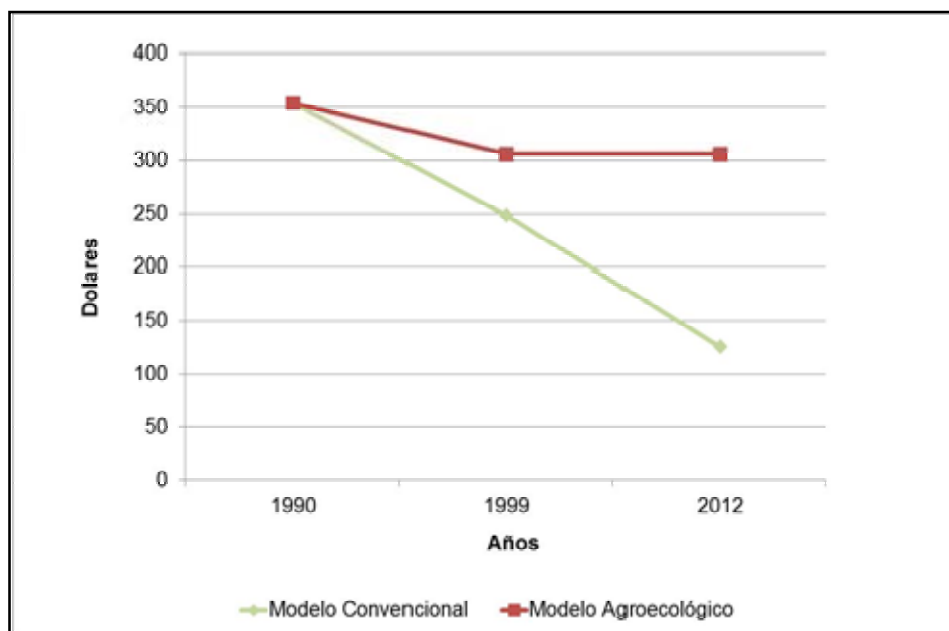


Figura 16.12: Evolución del margen bruto por hectárea de trigo en sistemas convencionales y en el establecimiento “La Aurora” (modelo agroecológico) en el período 1990-2012

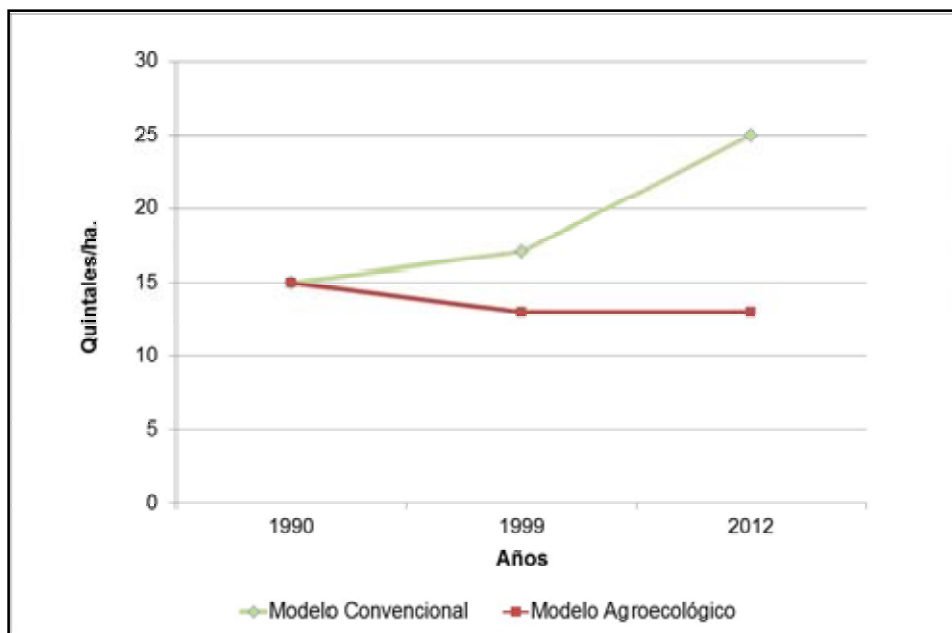


Figura 16.13: Evolución del rendimiento de indiferencia para trigo en sistemas convencionales y en el establecimiento “La Aurora” (modelo agroecológico) en el período 1990-2012

Resultados Socio económicos

La transición, basada en el fortalecimiento de procesos ecológicos requirió muchos conocimientos, pero poco capital. En estos quince años de transición no fue necesario, en general, depender de créditos. Se ampliaron las instalaciones del campo, se construyeron mejoras en la casa para mayor confort. El productor está al día con todos sus impuestos. La producción del campo le permitió costear los estudios universitarios a sus dos hijas, sostener el personal y realizar viajes de placer como así también mantener en buenas condiciones su equipo de trabajo.

Al productor no le interesaba aumentar permanentemente los rendimientos, sino lograr estabilidad, vivir bien, a su modo. Es una persona inquieta, hábil en el diseño de máquinas, respetuosa de su lugar, de su gente. En todos estos años su inquietud compartida cada mes con su profesional los llevo a descubrir el posible

funcionamiento de lo que manejaban, rediseñarlo para lograr los objetivos propuestos.

Esto fue posible por el permanente intercambio de saberes entre el productor y el técnico. Uno de los aspectos interesantes de esta experiencia, es que el asesor intentó entender lo que el agricultor quería, y rediseñar el sistema para cumplir con sus objetivos. Esto requirió, en primer lugar, respetar los deseos y expresiones del productor sin intentar modificarlo para que se adapte a lo que sabemos hacer. Entender que hay tantos modelos posibles de sistemas como productores haya. Por otra parte, la idea de rediseñar el sistema implica la habilidad para entender que es lo que no está funcionando correctamente (capacidad de diagnóstico) y saber cómo modificarlo. Para eso fueron esenciales también los conocimientos y la capacidad de observación del propio agricultor. Este saber, localmente adaptado, existe y es un enorme potencial para el diseño de sistemas ecológicamente adecuados.

Muchas veces esta capacidad necesita ser potenciada. Finalmente, requirió de parte del asesor, un gran conocimiento general del funcionamiento de los agroecosistemas y la capacidad de adecuarlo localmente en las estrategias pertinentes. Conceptos como ecología de poblaciones, sucesión, evolución, el rol ecológico de la biodiversidad, nicho, recursos, competencia, energía, ciclado de nutrientes, mecanismos de manejo de plagas y malezas, estuvieron todos presentes en este rediseño.

Es importante destacar que las tecnologías que se utilizaron en este campo son de fácil apropiación por parte de los productores, dado que no requieren de importantes sumas de capital, dependen más del ingenio, la complementación asesor-productor y la motivación que genera entender lo que uno está diseñando y manejando.

Conclusiones

La puesta en práctica de los principios teóricos de la Agroecología, permitió fortalecer los procesos naturales, estabilizar costos y rendimientos, disminuyendo el riesgo para el productor y brindándole la tranquilidad que él buscaba.

Es importante tomar conciencia de que muchos insumos se pueden reemplazar con procesos naturales mediante estrategias como las de incluir en la rotación aquellos cultivos que más se adapten a la zona, que permitan fijar la mayor cantidad de nutrientes en forma natural (como el carbono y el nitrógeno) y mantener la biodiversidad evitando la aplicación de productos de síntesis química que puedan alterar el natural funcionamiento del sistema. El reemplazo de tecnologías de insumos por tecnologías de procesos permitió disminuir el uso de energía y de dinero sin comprometer la satisfacción del productor. Los resultados obtenidos en “La Aurora” muestran las potencialidades de este enfoque para ser aplicado en sistemas extensivos de clima templado como los de la Región Pampeana Argentina.

Bibliografía citada

- Carrasco N & M Zamora (2013) Abundancia y composición de la fauna del suelo en función de las prácticas de manejo: Agroecológico, de altos insumos o suelo prístino. III Congreso Nacional de Ecología y Biología de Suelos -CONEBIOS III. Río Cuarto, Córdoba, Argentina,
- Cerdá E & SJ Sarandón (2011) Aplicación del enfoque de la Agroecología para el manejo sustentable de sistemas extensivos de clima templado. El caso de “La Aurora” en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, Benito Juárez. Argentina. *Cadernos de Agroecología*, 6 (2): Resumen Expandido N° 10469: 5pp.
- Iglesias LE, CA Saumell, LA Fusé, AL Lifchitz, EM Rodriguez, PE Steffan & CA Fiel (2005) Impacto ambiental de la ivermectina eliminada por bovinos tratados en otoño, sobre la coprofauna y la degradación de la materia fecal en pasturas (Tandil, Argentina). *RIA* 34 (3): 83-103.

Los Autores

Santiago Javier Sarandón. Ingeniero Agrónomo de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Profesor Titular de la Cátedra de Agroecología en la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF) de la UNLP. Investigador Principal de la Comisión de Investigaciones Científicas (CIC) de la Provincia de Bs. As. Editor Temático de la Revista Brasileira de Agroecología. Autor de numerosos trabajos y dirección de tesis en el área de la Agroecología y Agricultura Sustentable. Miembro de la Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA).

Claudia Cecilia Flores. Ingeniera Agrónoma, Magíster Scientiae en Economía Agroalimentaria con orientación al Desarrollo Rural, (UNLP). Jefe de Trabajos Prácticos del Curso de Agroecología de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Docente de posgrado en Agroecología en varias carreras de Maestría y/o especialización, Autora de numerosos trabajos científicos, de divulgación y capítulos de libros en el área de la Agroecología, agricultura sustentable y manejo de agroecosistemas. Directora o codirectora de varios proyectos de extensión universitaria y tesis de grado en el área de la Agroecología. Integrante de numerosos proyectos de investigación acreditados y subsidiados tanto en el país como en el extranjero Miembro de SOCLA.

Esteban Andrés Abbona. Ingeniero Agrónomo egresado de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP) y Máster en Agroecología y Desarrollo Rural Sostenible, de la Universidad Internacional de Andalucía, España. Es profesor Adjunto del Taller de Integración Curricular I y Ayudante diplomado del curso de Agroecología de la FCAyF, UNLP. Actualmente desarrolla su doctorado en la mencionada facultad en la temática de análisis de flujos y balances de nutrientes y su relación con la sustentabilidad de la agricultura bonaerense.

Nadia Dubrovsky Berensztein. Licenciada en Biología con Orientación en Ecología de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo (FCNyM), UNLP. Ayudante Diplomada de la Cátedra Introducción a la Botánica de la FCNyM. Estudiante de la carrera de Doctorado en la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP), basada en el Estudio de la fauna de artrópodos en Agroecosistemas del Cinturón Hortícola de La Plata, para el diseño participativo de estrategias de Control Biológico por conservación.

María Luz Blandi. Ingeniera Agrónoma, egresada de la FCAyF (UNLP). Es becaria de investigación del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y desarrolla su doctorado en la Cátedra de Agroecología de la mencionada facultad, en la temática tecnología del invernáculo en el Cinturón Hortícola Platense: análisis de la sustentabilidad y los factores que condicionan su adopción por parte de los agricultores.

María Margarita Bonicatto. Licenciada en Biología con orientación en Botánica egresada de la FCNyM, UNLP. Es Ayudante diplomado del curso de Agroecología de la FCAyF (UNLP). Se desempeña como becaria de investigación del CONICET en temas relacionados al uso y conservación de agrobiodiversidad. Actualmente desarrolla su doctorado en la Cátedra de Agroecología de la mencionada Facultad, en la temática de conocimiento y conservación de semillas por agricultores familiares del cinturón hortícola Platense y su relación con la sustentabilidad.

Eduardo Cerdá. Ingeniero Agrónomo. Asesor en Agroecología extensiva. Vicepresidente del Centro de Graduados de la FCAyF (UNLP). Asesor del Establecimiento agroecológico "la Aurora" desde el año 1990 a la fecha. Fue director de Producción del Municipio de Tres Arroyos y Director de Desarrollo Estratégico del Municipio de Tres Arroyos. Docente y Jefe de Planeamiento en temas de Agroecología, Escuela Agropecuaria de Tres Arroyos. Asesor del grupo ACER de Cooperativas argentinas. Autor en varias publicaciones de

producción, educación y gestión pública agroecológica. Numerosas disertaciones sobre la producción agroecológica en el país y en el extranjero.

Valentina Fernández. Licenciada en Biología Orientación Botánica, egresada de la FCNyM (UNLP). Es becaria de la UNLP y desarrolla sus actividades de investigación desde el curso de Agroecología de la FCAyF de dicha universidad. Actualmente desarrolla su doctorado en la FCAyF en la temática de análisis de la heterogeneidad vegetal en sistemas hortícolas familiares y su funcionalidad asociada a la regulación biótica de plagas.

Natalia Agustina Gargoloff. Ingeniera Agrónoma egresada de la FCAyF (UNLP). Es ayudante diplomada del curso de Agroecología de la FCAyF, (UNLP). Se desempeña como becaria de investigación del CONICET. Actualmente desarrolla su doctorado en la mencionada facultad, en la temática de manejo, conocimiento y valoración de la agrobiodiversidad en fincas familiares de La Plata. Su relación con un manejo sustentable de los agroecosistemas.

María José Iermanó. Ingeniera Agrónoma egresada de la FCAyF (UNLP). Se desempeña como becaria de investigación de la UNLP en temas vinculados a la eficiencia energética y la incorporación del enfoque agroecológico en sistemas extensivos de la región pampeana. Actualmente desarrolla su doctorado en la Cátedra de Agroecología de la mencionada facultad, en la temática de sistemas familiares mixtos de agricultura y ganadería pastoril de la región pampeana, eficiencia en el uso de la energía y rol funcional de la agrobiodiversidad.

Mariana Edith Marasas. Doctora en Ciencias Naturales, de la FCNyM (UNLP). Magíster en Ambiente y Patología Ambiental. Expedido por la Universidad Nacional de La Plata- Universidad de Siena, Italia. Jefe de Trabajos Prácticos del Curso de Agroecología de la FCAyF (UNLP). Docente en numerosos cursos de posgrado en Agroecología. Investigadora del Instituto de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Pequeña Agricultura Familiar (IPAF) de la región pampeana- INTA. Posee experiencia en investigación acción participativa y en Agroecología con pequeños productores de la región. Miembro activo del SOCLA, punto focal para la Argentina. Autora de trabajos en revistas científicas y en actas de congresos nacionales e internacionales. Directora y co-directora de becarios y tesis en proyectos de investigación del INTA, UNLP y CONICET.

Cecilia Inés Mónaco. Doctora en Ciencias Naturales, FCNyM (UNLP). Magíster en Protección Vegetal de la FCAyF (UNLP). Jefe de Trabajos Prácticos del Curso de Fitopatología de la FCAyF, UNLP. Docente en numerosos cursos de posgrado en Control Biológico de enfermedades de las plantas. Docente-Investigadora del Centro de Investigaciones en Fitopatología (CIDEFI) UNLP-CIC. Posee experiencia en Manejo Integrado de enfermedades de cultivos. Autora de publicaciones sobre el tema en revistas científicas y en actas de congresos nacionales e internacionales. Dirección y co-dirección de tesis de doctorado y de Maestría y de proyectos de investigación de la UNLP.

María Fernanda Paleologos. Licenciada en Biología con orientación en Zoología, egresada de la FCNyM (UNLP)). Doctora en Ciencias Naturales, de la FCNyM (UNLP). Es Ayudante diplomado del curso de Agroecología de la FCAyF (UNLP). Becaria Posdoctoral del CONICET. La temática de trabajo es la agrobiodiversidad animal, especialmente los carábidos, su rol ecológico en el funcionamiento sustentable de los sistemas agrícolas y su relación directa con la agrobiodiversidad vegetal.

Griselda Estela Sánchez Vallduví. Es Ingeniera Agrónoma, Doctora de la FCAyF (UNLP). Profesora Adjunta del Curso de Oleaginosas y Cultivos Regionales de la FCAyF. Experiencia en proyectos de investigación relacionados con el estudio de estrategias para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables. Temática de trabajo: Manejo de malezas y su evaluación con un enfoque agroecológico. El uso de policultivos y su rol en la

sustentabilidad de sistemas de producción extensiva. Trabajos publicados en revistas científicas y actas de congresos nacionales e internacionales. Dirección y co-dirección de becarios y tesinistas de trabajos de investigación de la UNLP y CIC.

Susana Andrea Stupino. Licenciada en Biología con orientación en Ecología, egresada de la FCNyM (UNLP). Es Ayudante diplomado del curso de Agroecología de la FCAyF (UNLP). Se desempeñó como becaria de investigación en temas relacionados con la ecología del paisaje y la diversidad vegetal en sistemas bajo diferente manejo. Actualmente desarrolla su doctorado en la Facultad de Ciencias Naturales y Museo con lugar de trabajo en el Laboratorio de Investigación de sistemas ecológicos y ambientales (LISEA) (FCNyM-FCAyF, UNLP) -. La temática de trabajo es la diversidad vegetal en agroecosistemas hortícolas de La Plata, su relación con diferentes estilos de agricultura y la influencia del paisaje. Su importancia para la sustentabilidad.